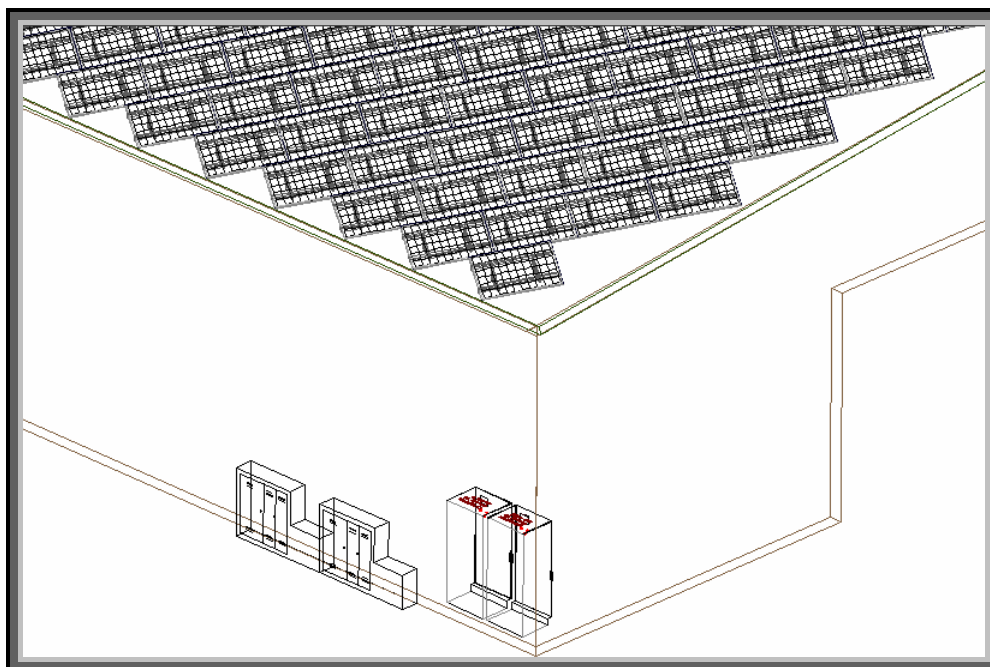




Universitat de Lleida

PFC: Projecte d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa de baixa tensió sobre la coberta d'una nau agroindustrial



Juan Francisco Juárez García



E.T.S.E.A

Juliol 2010

PFC: Projecte d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa B.T. sobre la coberta d'una nau agroindustrial

INDEX GENERAL

MEMÒRIA.....	2
ANNEX I. DESCRIPCIONS I CÀLCULS.....	26
ANNEX II. ESTUDI ECONÒMIC.....	104
ANNEX III. EMISSIONS DE GASOS EVITADES.....	119
ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT.....	122
PRESSUPOST.....	142
PLEC DE CONDICIONS.....	148
PLÀNOLS.....	165

MEMÒRIA

MEMÒRIA. INDEX

0.- Resum	4
1.- Full d'identificació	5
2.- Introducció	6
3.- Objecte i abast del projecte	9
4.- Descripció, situació i emplaçament de la nau agroindustrial	10
5.- Estudi d'alternatives	11
5.1.- INSTAL·LACIÓ INTEGRADA EN LA COBERTA AMB MÒDULS <i>THIN</i> (AMORFS)	12
5.2.- INSTAL·LACIÓ AMB ORIENTACIÓ I INCLINACIÓ ÒPTIMES DE MÒDULS CRISTAL·LINS	13
6.- Avaluació econòmica d'alternatives i opció a escollir	14
7.- Sistema de captació solar	15
7.1.- CAPTACIÓ FIXA	15
7.2.- DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA	17
7.2.1.- <i>Descripció de les línies</i>	17
7.2.2.- <i>Descripció dels mòduls fotovoltaics</i>	18
7.4.3.- <i>Descripció dels inversors</i>	19
8.- Pressupost de la instal·lació fotovoltaica de mòduls cristal·lins orientats	20
9.- Planificació de l'execució de la instal·lació	21
10.- Normes i referències	23
11.- Bibliografia	24

Taula 1: Comparativa dels indicadors financers dels dos tipus d'instal·lació.....	14
Taula 2: Comparativa d'alguns paràmetres importants entre les dos alternatives	14
Taula 3: Inclinator i orientacions òptimes pels mòduls fotovoltaics de la instal·lació	16
Taula 4: Nombre de mòduls i connexions entre ells	17

Figura 1: Evolució en la instal·lació d'energia fotovoltaica a Espanya	8
Figura 2: Distribució potència elèctrica fotovoltaica instal·lada fins 2007	9
Figura 3: Situació i mapa cadastral de la parcel·la i la nau.....	10
Figura 4: Perspectiva de la nau.....	11
Figura 5: Mòdul fotovoltaic de silici amorf, model <i>PVL144</i>	13
Figura 6: Disposició de mòduls monocristal·lins, amb inclinació i orientació òptima	13
Figura 7: Separació entre fileres de mòduls.....	16
Figura 8: Energia incident en plànol receptor (<i>PVSyst</i>)	16
Figura 9: Esquema simplificat d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa de baixa tensió	17
Figura 10: Mòdul fotovoltaic de silici monocristal·lí <i>HEE215MA65-235</i>	18
Figura 11: Inversors <i>SUNWAY TG 100 - 800V</i> i <i>TG 90-600V</i>	19
Figura 12: Percentatge dels costos materials de la instal·lació fotovoltaica	20
Figura 13: Diagrama de <i>GANTT</i>	22

0.- RESUM

El present *Projecte Final de Carrera* té com a objectiu la instal·lació de mòduls fotovoltaics en la coberta d'una nau situada a un polígon industrial de Lleida, de dimensions 70 x 30 m, orientada amb un acimut de -30°, per tal de vendre l'energia produïda a la companyia distribuïdora i aconseguir un benefici econòmic. La instal·lació consta de 690 mòduls de silici monocristal·lí de 235 Wp (model *HEE215MA65-235*) i de dos camps de captació diferenciats en cada ala de la nau, tots ells orientats cap el sud (0° acimut) i inclinats 30°. El camp 1 consta de 360 mòduls i el camp 2 de 330 mòduls, connectats al seu corresponent inversor de 76 kW i 68 kW (models *Sunway TG 100-800V* i *Sunway TG 90-600V*).

El cost total de la instal·lació és de 707.201,36 € euros i té un període de retorn de 9 anys. És un projecte rendible i una bona opció ambiental que aconsegueix reduir les emissions de CO₂ en 117,6 tones anuals.

This *Final Project* involves the installation of photovoltaic modules on the roof of a building (dimensions 70 x 30 m), located in an industrial area of Lleida and oriented at an azimuth of -30 degrees, with the objective of selling the produced energy to the distribution company, and thus obtaining an economic benefit.

The installation consists of 690 modules of monocrystalline silicon of 235 Wp (*HEE215MA65 235 model*) in two different areas of solar catchment, (each side of the roof); all modules are facing south (0 ° azimuth) and tilted 30 degrees. Field 1 has 360 modules and field 2, 330 modules, connected to its corresponding inverters of 76 and 68 kW respectively (*Sunway 100-800V TG* and *600V 90-600V TG models*).

The total cost of the installation is EUR 707.201,36 and has a return period of nine years. It is a profitable project and a good environmental option that achieves a reduction of CO₂ emissions in 117,7 Tm per year.

1.- FULL D'IDENTIFICACIÓ

▪ **Títol del projecte:** "Projecte d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa de baixa tensió sobre la coberta d'una nau agroindustrial "

▪ **Situació geogràfica de la nau industrial:** Polígon industrial PD Les Canals, Lleida 25191. Referència cadastral 6893102CG0069D0001XD

latitud: 41° 36' 35.40" N

longitud: 0° 40' 51.26" E

▪ **Autor del projecte:** Juan Fco. Juárez García, (jjg2@alumnes.udl.cat)

▪ **Tutor del projecte:** Joan Ramon Rosell Polo (Departament d'Enginyeria Agroforestal)

Lleida, juliol de 2010

Signatura:

Juan Francisco Juárez García

2.- INTRODUCCIÓ

Les conseqüències del model socio-econòmic basat en el consum de combustibles fòssils han arribat a tal dramatisme durant els últims anys que ja ningú nega que el present model energètic està en crisi i per tant, en vies de transformació. És urgent redirigir l'actual sistema centralitzat i basat en els recursos fòssils a un sistema bàsicament distribuït i sostingut en les energies renovables. Entre les energies que configuren el nou ordre energètic destaca la solar. Gràcies als desenvolupaments viscuts en les últimes dècades en les diferents aplicacions de l'energia solar es pot afirmar que en aquesta primera dècada del segle XXI algunes de les tecnologies en l'àmbit solar ja han arribat a la maduresa però falta encara un important esforç en altres aplicacions. Actualment són molts els investigadors treballant en ciència bàsica i aplicada relacionada amb l'aprofitament de la radiació solar. A la vegada, el nombre de tècnics e instal·ladors creix, animat per la demanda en la societat de sistemes solars tèrmics i fotovoltaics.

La contribució que les diferents tecnologies solars poden fer a un desenvolupament respectuós amb el medi és enorme. La radiació solar que rebem cada dia sobre els nostres caps, encara que diluïda, és de tal qualitat que podríem qualificar-la de "pura energia", i per això els seus processos d'aprofitament tenen la obligació de mantenir un desenvolupament continuat que millori l'eficiència en la conversió energètica d'ús final. La quantitat de combustible solar que rebem és enorme. Cada deu dies, la Terra es banyada per radiació solar equivalent en termes energètics a totes les reserves conegudes del petroli, gas i carbó. L'aprofitament d'aquesta radiació solar amb tecnologies fotovoltaiques o termoelectriques ja disponibles, permetria cobrir la demanda mundial d'electricitat, utilitzant només un 1% de les àrees desèrtiques del món. I a més ens permetria fer-lo reduint emissions contaminants. Un metre quadrat de captador solar permet produir a l'any entre 1.000 i 1.500 kWh d'energia tèrmica, que pot ser aprofitada amb dispositius de concentració a temperatures elevades entre 500 i 1.500 °C. A més, un modest panell fotovoltaic o un captador solar tèrmic de 2 m² en una vivenda, permet evitar l'emissió atmosfèrica de 1 t de CO₂ a l'any.

Aquest potencial enorme de contribució a la reducció d'emissions i de subministrament d'energia, ha de tenir-se en compte en les properes dècades. Reputats estudis de prospectiva com *WETO (World Energy, Technology and climate policy Outlook)* prediuen fins l'any 2030 un creixement sostingut de la demanda energètica mundial del 1,8% anual, i un increment anual de les emissions del 2,1%, motivat pel paper dominant que seguiran mantenint els combustibles fòssils. L'any 2030 més de la meitat de la demanda energètica mundial estarà centrada en els països en vies de desenvolupament. Per tant, s'està a temps d'introduir un model sostenible que fomenti l'ús racional de tecnologies solars.

Segons l'Agència Internacional de l'Energia, els països de l'OCDE (*Organization for economic co-operation and development*) són els responsables de més de la meitat de les emissions de CO₂ a escala mundial. La *Comissió Europea* va preparar una comunicació sobre el canvi climàtic que es va celebrar l'any 1997 a *Kyoto*, en què s'estimava que l'increment de les emissions de CO₂ a la Unió Europea en el període 1990-2010 podia arribar al 8% si se seguia la tendència actual de consum. Per tant, les mesures més urgents per reduir aquestes emissions haurien de ser implantades per aquests països més desenvolupats. Aquestes mesures són la millora de l'eficiència energètica i a la substitució dels combustibles fòssils per altres fonts d'energia, preferentment per fonts renovables.

A més de l'impacte positiu sobre el medi ambient, la utilització d'energies renovables, comporta, des del punt de vista de la Unió Europea, altres beneficis:

- La utilització de fonts renovables d'energia redueix la dependència energètica exterior i augmenta la seguretat del subministrament, ja que els recursos propis de combustibles fòssils de la majoria de països industrialitzats són molt limitats.
- El desenvolupament d'un sector d'activitat potent al voltant de les energies renovables pot contribuir a la creació d'ocupació.
- L'ús dels recursos energètics locals incideix favorablement sobre el desenvolupament regional, per la qual cosa l'ús de les energies renovables es converteix en un aspecte important de la cohesió regional dins de la Unió Europea.
- El desenvolupament econòmic de tercers països comportarà l'increment de la seva demanda d'energia. Si aquest increment es cobreix, total o parcialment, amb energies renovables, s'obre una bona oportunitat de negoci per a les empreses europees del sector.

L'aprofitament de les energies renovables presenta un seguit d'inconvenients que, fins ara, n'han limitat una utilització més estesa. El principal és de tipus econòmic ja que aquestes tecnologies requereixen inversions relativament importants, amb temps de retorn considerables, si bé en un càlcul rigorós hauria d'incorporar els costos ambientals, la qual cosa no és usual de fer. D'altra banda, el *Llibre Verd de la Comissió Europea "Energia per al futur: Fonts d'energies renovables"* esmenta altres punts febles que també cal tenir presents:

- La resistència general al canvi.
- Problemes tècnics en la connexió a xarxes centralitzades.
- Dificultats provocades per les variacions estacionals en el cas de les energies eòlica i solar.

L'objectiu de la Unió Europea és augmentar la proporció d'energies renovables fins el 21 % per la producció d'electricitat. No obstant, els problemes que s'han de resoldre són complexos: la xarxa elèctrica europea està completament interconnectada i entrellaçada entre els països, i la major part de l'energia es fabrica en centrals nuclears o tèrmiques de gran potència (1000 MW o més). Aquesta xarxa ha de ser estable per subministrar la tensió a una freqüència de 50 Hz, des d'Escandinàvia a Portugal. Els intercanvis entre països són actualment de l'ordre del 10 % sobre el conjunt de la producció, i si un generador es para, els països veïns, de manera solidària, compensen aquesta pèrdua durant 15 minuts com a màxim, sempre amb el risc de contagi que provocaria la parada completa d'una part de la xarxa. Aquests 15 minuts han de permetre a la xarxa avariada, prendre les mesures necessàries per tornar a ser autònoma, mitjançant la posada en marxa de centrals d'ajuda, o mitjançant el tall de subministraments a clients de la zona. Aquesta xarxa es troba en un estat de fragilitat, essent les condicions climàtiques extremes la causa freqüent d'avaries que es poden estendre als països veïns. La construcció de xarxes passa per una planificació a llarg termini, on cada nova central es concebi per reforçar una part de la xarxa, i així millorar l'estabilitat global del total. En agregar a aquest delicat "edifici" una multitud de petits generadors que subministren una quantitat fluctuant d'energia augmenta encara més la complexitat del sistema, per la qual cosa els operadors de les grans xarxes elèctriques temen que l'estabilitat de xarxa sigui encara més difícil de mantenir.

Aquesta alta densitat de generadors descentralitzats i de potències variables exigeix una aproximació probabilística de la gestió del sistema, i una gran flexibilitat dels fluxos de potències entre les centrals i les xarxes locals. Per integrar una part important dels productors descentralitzats, les xarxes "flexibles" de productors de potència variable tenen un gran avantatge: és molt més fàcil reduir la producció d'una central fotovoltaica que una nuclear, que ha de treballar en una franja molt estreta de potència (ja que en cas contrari, hi ha risc d'inestabilitat perillosa).

Per això, la pràctica totalitat dels governs dels països industrialitzats han adoptat mesures de promoció de les energies renovables. El seu objectiu és millorar la rendibilitat de les inversions mitjançant subvencions directes, préstecs, exempció d'impostos o assegurant la compra, a preus atractius, de l'electricitat d'origen renovable venuda a la xarxa. El desenvolupament i l'aplicació de les energies renovables tenen el suport de l'opinió pública, com a conseqüència de la conscienciació del públic sobre les qüestions ambientals, i això ha contribuït a la incorporació de polítiques de suport en els programes de govern.

Durant el 2004 es van instal·lar a Catalunya uns 4.500 kWp en plaques solars fotovoltaïques. Aquest increment confirma la tendència a l'augment en la instal·lació d'aquest tipus de sistema de producció energètica renovable. Les previsions per l'any 2010, situava la potència instal·lada a Espanya, en 143,7 MWp, i l'objectiu del *Pla d'Energies Renovables (PER)* era de 400 MW per 2010.

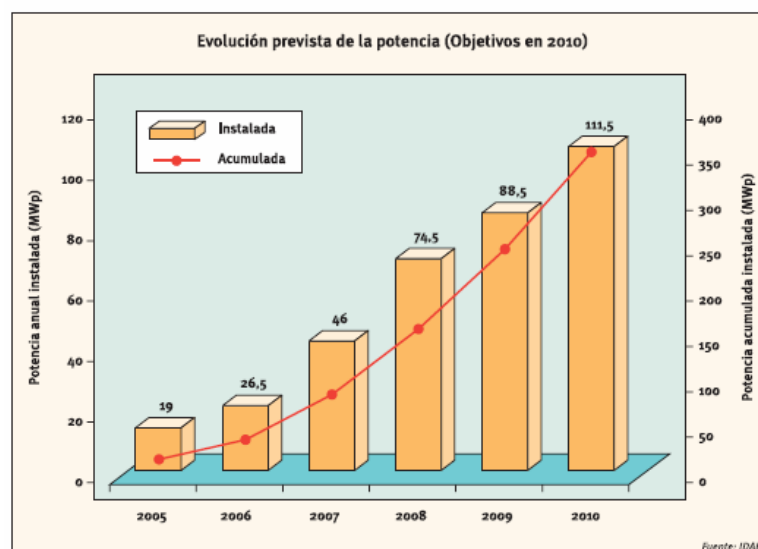


Figura 1: Evolució en la instal·lació d'energia fotovoltaica a Espanya

El creixement de l'energia solar fotovoltaica, és més gran que el previst. Només durant 2007 es va instal·lar més capacitat que tota l'acumulada fins al començament d'aquell any i més que la potència instal·lada en qualsevol altra àrea de generació d'electricitat -exceptuant l'eòlica-, incloent les centrals hidroelèctriques de fins 50 MW, amb una tecnologia madura i plenament consolidada. D'aquesta forma, a finals de 2007 s'havia sobrepassat l'objectiu de nova potència a instal·lar-ne en el període 2005-2010.

El fort i creixent ritme de desenvolupament de l'àrea en el passat recent i l'aprovació, el 25 de maig de 2007, del *Reial Decret 661*, amb un increment substancial de la retribució per a les instal·lacions d'entre 100 kW, i 10 MW hi ha fet que l'any 2007 s'hagi assolit el 85% de l'objectiu de 400 MW establert per a l'energia solar fotovoltaica connectada a xarxa el 2010, el que obliga a preveure un sistema transitori per gestionar la retribució de les noves instal·lacions.

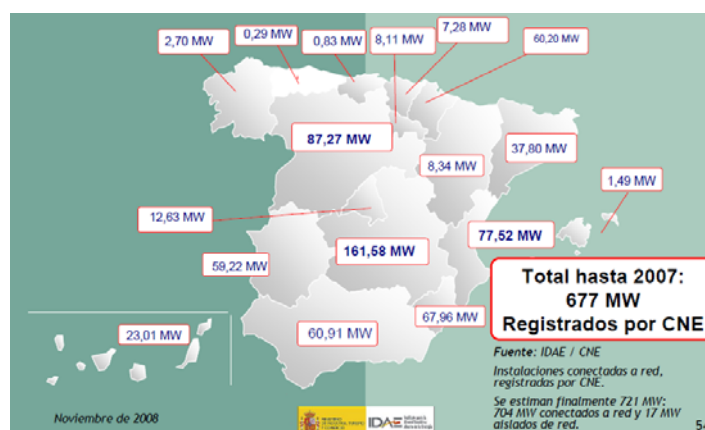


Figura 2: Distribució potència elèctrica fotovoltaica instal·lada fins 2007

Des de l'any 2000 la capacitat de producció de cèl·lules fotovoltaïques a Espanya no ha parat de créixer. En 2007 es va arribar als 132 MW, el que suposa més del 3% de la producció mundial. Espanya és el sisè fabricant del món, després de Xina, Japó, Alemanya, Taiwan i Estats Units.

L'aplicació d'energies renovables als edificis representa un pas més endavant, ja que els edificis no només estalvien energia sinó que, fins i tot, en produeixen (en forma de calor i electricitat) sense contaminar el medi i a partir de fonts inesgotables. La tradicional contradicció entre el confort (que representa una gran demanda energètica) i el respecte al medi ambient ha desaparegut gràcies a les noves tecnologies que utilitzen els recursos renovables i que permeten, construir una nova generació d'edificis sostenibles. Les energies renovables són inesgotables, netes i es poden utilitzar de forma autogestionada (ja que es poden aprofitar en el mateix lloc en el que es produeixen).

3.- OBJECTE I ABAST DEL PROJECTE

Aquest projecte té l'objectiu de dissenyar la xarxa fotovoltaica sobre la coberta d'una nau industrial d'una empresa del sector agroindustrial, així com dimensionar aquesta instal·lació solar connectada a la xarxa de baixa tensió.

En els últims anys ha augmentat la preocupació pel medi ambient. Les empreses han de respectar el medi sense contaminar mitjançant l'aplicació de les energies renovables. El present projecte serà aplicable als components, equips, característiques i condicions de servei de la instal·lació solar fotovoltaica des dels equips de captació solar fins el punt de connexió a la xarxa de baixa tensió.

El promotor del projecte pretén instal·lar una instal·lació solar fotovoltaica connectada a la xarxa de baixa tensió, en una nau industrial agroindustrial situada en un polígon industrial de la Lleida, amb la finalitat de realitzar una inversió productiva.

4.- DESCRIPCIÓ, SITUACIÓ I EMPLAÇAMENT DE LA NAU AGROINDUSTRIAL

La nau industrial (no existent a la realitat) es troba situada en el polígon industrial *PD Les Canals de Lleida*, en el *Vial Lleida* amb accés per la carretera *LL-11* (Carretera de Madrid-França) i la carretera *N-240*, per la *C-13* (*Camí dels Frares*).

Presenta unes dimensions de 30 x 70 m, i la seva teulada a dos aigües simètriques, té una inclinació de 6 °. És en aquesta teulada on se situaran els mòduls fotovoltaics de la instal·lació. L'alçada lliure de la coberta en la part més baixa és de 7 metres.

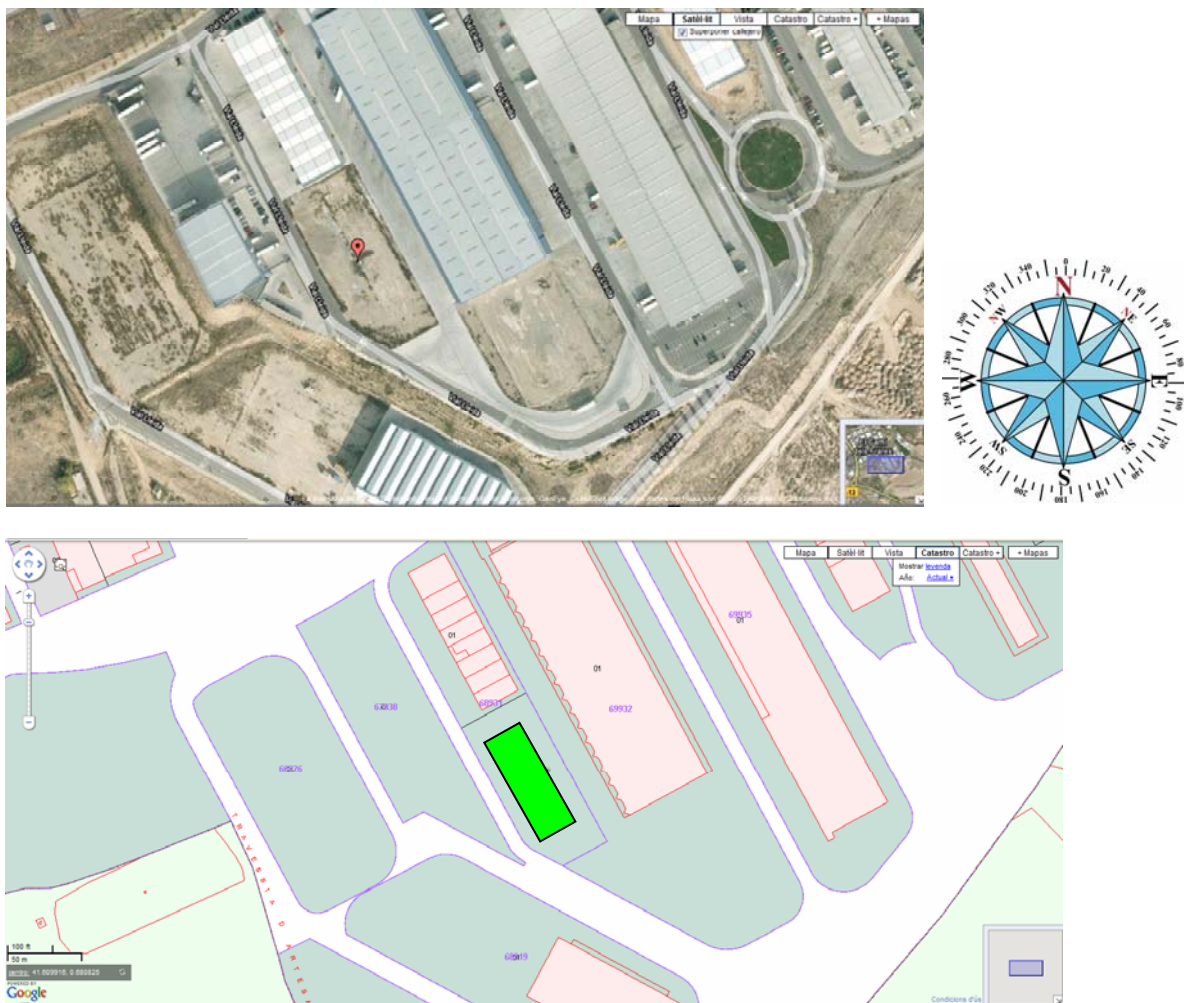


Figura 3: Situació i mapa cadastral de la parcel·la i la nau

5.- ESTUDI D'ALTERNATIVES

La instal·lació solar fotovoltaica que s'ha realitzat en aquest projecte és de connexió a la xarxa elèctrica de baixa tensió, perquè aquestes instal·lacions tenen un menor cost d'inversió (no s'han d'instal·lar bateries ni reguladors) i un menor cost de manteniment. La potència de la instal·lació serà calculada depenent de la opció que s'escull en el disseny.

Aquesta nau industrial està orientada amb un acimut de -30° , per la qual cosa les opcions d'alternatives lògiques plantejades són dos possibles solucions que podrien ser adients, segons el sistema de captació solar:

- **Alternativa A:** instal·lació solar fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica de baixa tensió amb un sistema de captació solar fix amb mòduls *thin amorfs*, en les dues aigües de la nau. Integració sobre la coberta de la nau. Els mòduls es col·loquen seguint la forma de la coberta (veure Figura 4).
- **Alternativa B:** instal·lació solar fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica de baixa tensió amb un sistema de captació solar fixa amb els mòduls cristal·lins rígids, amb inclinació òptima de 30° respecte l'horitzontal i orientació sud. Superposició dels mòduls sobre suports metàl·lics en coberta (Figura 6).

Per a la realització del projecte d'una instal·lació fotovoltaica en una coberta hi ha diverses alternatives, que depenen de varis factors. Els més importants, són els econòmics; altres factors, com la situació geogràfica de la nau i la seva orientació, la forma de la coberta, etc., influeixen decisivament en la realització del projecte.

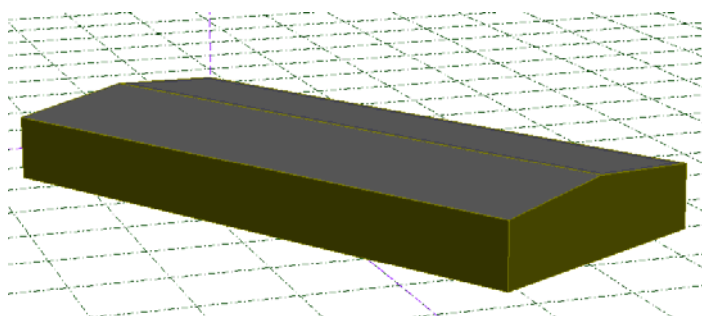


Figura 4: Perspectiva de la nau

En aquest cas, en ser una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa, les limitacions per a la producció d'energia -sense tenir en compte els aspecte econòmics-, són la superfície de la coberta, que és limitada, i el tipus de mòduls fotovoltaics empleats.

5.1.- INSTAL·LACIÓ INTEGRADA EN LA COBERTA AMB MÒDULS THIN (AMORFS)

En aquesta alternativa es tracta de col·locar en la superfície de la coberta aquests tipus de mòdul, que són panells flexibles, i per tant anirien seguint la mateixa forma de la coberta. És el que s'anomena "integració en l'edifici" o "integració arquitectònica" dels mòduls. Aquesta opció presenta una millor estètica, ja que no hi ha peces que sobresurten de la coberta i semblaria que els mòduls formen part de la coberta, presentant un menor impacte visual. Cal dir, però, que per una nau situada en un polígon industrial, aquest no és un dels aspectes més importants.

En quant als avantatges d'aquests tipus de mòduls es poden destacar varis:

- Actualment són més barats i la seva flexibilitat física els fa més versàtils que els mòduls tradicionals, per la qual cosa tenen major facilitat d'integració, menor pes i menor quantitat de silici; això fa que puguin ser una solució òptima per instal·lacions en cobertes.
- Es poden orientar quan l'espai disponible pel camp de captació està desviat més de 30-35° respecte el sud o en qualsevol situació en la que la orientació sigui inadequada.
- Són una bona opció quan el pressupost és massa ajustat. En ambients càlids, el seu menor coeficient de temperatura els permet perdre menys potència quan puja la temperatura, per la qual cosa permet aprofitar millor l'alta irradiació dels mesos d'estiu, respecte d'un mòdul cristal·lí. Es veuen menys afectats per les condicions d'alta temperatura ambient.
- Sobre coberta, redueixen la càrrega, ja que estan fets de materials més primers i en molts casos no tenen marc, sent menys pesants.
- Produeixen electricitat encara que hi hagi ombres i orientacions desfavorables. Els afecta menys la dispersió de la llum (brutícia, humitat i dies nuvolats).
- Mantenen la seva eficiència inicial de conversió durant llargs períodes, el que els fa estables.
- No els afecta la inclinació dins d'un rang ampli d'angles.
- Tenen un ampli espectre de captació solar. La corba de radiació total és més alta, el que significa que capten més radiació (radiació directa més radiació difusa).
- Poden arribar a ser més productius (kWh/kWp), a pesar de ser menys eficients (kWp/m²).
- Presenten una major facilitat de muntatge i instal·lació.

Tots aquests avantatges fan que sigui una bona alternativa la instal·lació d'aquests tipus de mòduls en la coberta de la nau. Cal dir, també que hi ha varis inconvenients:

- Els mòduls amorfs tenen un rendiment menor, no són tan eficients en convertir la llum del sol a electricitat (rendiments de conversió sensiblement inferiors als de silici).
- Presenten una degradació del rendiment lineal.
- Es necessita més espai que amb els mòduls cristal·lins (relativament, ja que els mòduls cristal·lins s'han de separar per evitar ombres).

En aquest cas d'integració arquitectònica, els mòduls van seguint la coberta (d'inclinació 6°), i per tant, no tenen una inclinació òptima de captació solar, però aquest angle d'inclinació no afecta gaire a la captació, com s'ha vist en els "avantatges" d'aquest tipus de mòdul. Com que la nau no està orientada cap el sud, tampoc seria una orientació òptima, encara que no seria dolenta. Segons els avantatges descrits anteriorment, la integració arquitectònica amb mòduls amorfs *thin*, és una bona alternativa per la instal·lació solar fotovoltaica en la coberta de la nau, i també perquè aquests mòduls són més econòmics.

El mòdul utilitzat per a la simulació d'aquesta alternativa és el que mostra a la Figura 5; el model *PVL144* és un panell flexible de silici amorf amb una potència P_{mod} , de 144 Wp.



Figura 5: Mòdul fotovoltaic de silici amorf, model *PVL144*

5.2.- INSTAL·LACIÓ AMB ORIENTACIÓ I INCLINACIÓ ÒPTIMES DE MÒDULS CRISTAL·LINS

Aquesta alternativa presenta més dificultat en quant a l'execució de la instal·lació, ja que per orientar i inclinar els mòduls, que en aquest cas són rígids, cal una estructura de suport metàl·lica.

La posició dels mòduls sobre la coberta segueix línies no paral·leles a la coberta, per tal d'aconseguir una orientació cap el sud. Els mòduls aniran col·locats amb una inclinació d'uns 30° , per tal d'aconseguir una inclinació de captació òptima (Figura 6). Aquesta inclinació serà fixa durant tot l'any, ja que la instal·lació d'un sistema de seguiment solar, aportaria massa càrrega per la coberta i encariria molt la instal·lació.

Els mòduls de silici monocristal·lí tenen un rendiment o eficiència més elevat i una vida útil més llarga.

En aquest cas s'ha de tenir en compte les càrregues que ha de suportar la coberta en posar a sobre la instal·lació generadora fotovoltaica (els mòduls). També s'ha de tenir en compte les càrregues de vent i neu que han de suportar els mòduls i la seva estructura de subjecció.

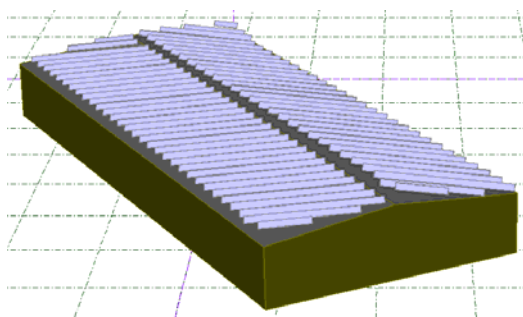


Figura 6: Disposició de mòduls monocristal·lins, amb inclinació i orientació òptima

6.- AVALUACIÓ ECONÒMICA D'ALTERNATIVES I OPCIO A ESCOLLIR

La inversió inicial per la opció de mòduls amb orientació i inclinació òptimes és superior, en ser més cars els mòduls de silici monocristal·lí. En quant als inversors, que són un element clau de la instal·lació, amb la opció de integració amb mòduls *thin*, la potència de l'inversor és menor (i per tant té un preu més econòmic). Això implicaria una inversió inicial menor, però també una menor producció d'energia abocada a la xarxa.

En quant a indicadors econòmic-financers, la Taula 1 mostra els valors de VAN, TIR i Període de Retorn de cada una de les opcions. Per ampliar aquestes dades, cal revisar el document *Annex II, Estudi econòmic*.

	INSTAL·LACIÓ MÒDULS INTEGRATS THIN	INSTAL·LACIÓ MÒDULS CRISTAL·LINS ORIENTATS
VAN	41.148 €	216.181 €
TIR (a 25 anys)	5,55%	14,19%
RETORN (anys)	22	9

Taula 1: Comparativa dels indicadors financers dels dos tipus d'instal·lació

Finalment, la Taula 2 compara alguns valors importants de cada una de les alternatives; com es pot observar, els valors de la opció B són tots més favorables, per la qual cosa, és l'opció escollida per la realització del projecte.

	A- Instal·lació Mòduls <i>thin</i>	B- Instal·lació mòduls cristal·lins
E _{xarxa}	144.090 kWh/any	196.033,7 kWh/any
Mòduls	840 unitats (PVL144) 316.680,0 €	690 unitats (HEE215MA65-235) 367.483,7 €
Inversors	2 x 60 kW 60.000,0 €	76 i 68 kW 64.089,6 €
Pèrdues instal·lació	20,1%	23 %
Pressupost total (sense IVA)	544.891,53 €	609.656,3 €
Ingressos	42.535,368 €/any	57.868,9 €/any
Preu unitari €/Wp	4,5	4,2
Producció	1.2001 kWh any /kWp instal·lat	1.361,3 kWh any /kWp instal·lat
Preu kWh	0,26 €	0,21€

Taula 2: Comparativa d'alguns paràmetres importants entre les dos alternatives

La producció energètica de la instal·lació amb mòduls cristal·lins és superior i el període de retorn de la inversió resulta menor. Per a la realització del projecte s'escull la opció de mòduls de silici monocristal·lí amb una orientació i inclinació òptimes. Tots els càlculs de la instal·lació, estan referits a aquesta opció.

7.- SISTEMA DE CAPTACIÓ SOLAR

Sempre que es disposa d'un sistema basat en l'energia solar s'ha de prestar una gran atenció a la manera en que es realitza la captació. Aquest sistema ha de ser capaç de realitzar una captació amb el màxim rendiment possible, pel que serà necessari un bon coneixement de les característiques de la zona geogràfica on s'ha d'ubicar la instal·lació. Aquest coneixement permetrà la realització d'un estudi de la captació solar que es podrà dur a terme, atenent als factors astronòmics, meteorològics i geogràfics que influeixen en el procés de captació.

La captació d'energia solar es realitza mitjançant el camp de mòduls fotovoltaics. Aquesta captació depèn de forma directa de:

- Superfície total de captació
- Localització geogràfica
- Orientació i inclinació dels mòduls fotovoltaics
- Tipus de sistema de captació (fixa o mòbil)

D'aquestes diferents variants, la localització geogràfica ve imposada per la situació de la nau industrial, i la superfície total de captació depèn directament del sistema de captació escollit, així com l'orientació i la inclinació dels panells, la superfície disponible (en aquest cas la coberta de la nau) i la superfície dels mòduls fotovoltaics.

7.1.- CAPTACIÓ FIXA

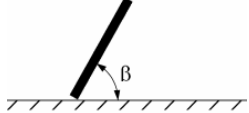
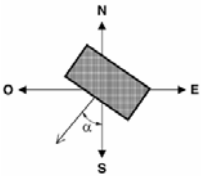
Aquest sistema consisteix en col·locar els mòduls fotovoltaics en una estructura, normalment metàl·lica, que els manté fixes i inclinats certs graus respecte l'horitzontal. És el sistema més utilitzat, ja que és el més fàcil, simple i econòmic d'instal·lar. Com a contrapartida té l'inconvenient que no aprofita tota la radiació solar possible ja que no segueix el moviment relatiu del Sol respecte la superfície destinada a la captació solar.

La màxima producció elèctrica per part dels panells es produeix quan els raigs solars incideixen perpendicularment sobre la superfície de captació. Per tant, en un sistema de captació amb inclinació i orientació fixes, no sempre es mantindrà aquesta perpendicularitat desitjada; només haurà una posició òptima del Sol per la qual s'obtindrà una captació solar màxima. Per aquest motiu quan s'instal·la un camp de captació solar fotovoltaic en una zona geogràfica concreta, s'ha de buscar la inclinació i la orientació acimutal (Sud per una zona de l'hemisferi nord) que permeti l'obtenció d'un valor mitjà d'energia el més alt possible, intentant compensar els períodes de baixa captació energètica -que varien diàriament i estacional-, amb els períodes en els que s'obté una màxima captació.

De les estacions meteorològiques d'Aragó i Catalunya, que recullen dades de radiació solar sobre una superfície inclinada, la més propera al municipi de Lleida és l'estació meteorològica de Raimat, de latitud 41,62°.

S'ha de tenir en compte que per la zona de Lleida, una inclinació elevada respecte al pla horitzontal del captador fotovoltaic afavoreix la captació durant l'hivern mentre que una orientació azimuthal Sud (0°) permet obtenir una major mitjana anual d'energia sola captada.

En el cas del projecte d'instal·lació de mòduls fotovoltaics amb inclinació i orientació òptimes, aquests paràmetres de col·locació dels mòduls queden definits de la següent manera:

Inclinació òptima dels mòduls fotovoltaics	$\beta = 30^\circ$	
Orientació òptima dels mòduls fotovoltaics (acimut)	$\alpha = 0^\circ$	

Taula 3: Inclinació i orientacions òptimes pels mòduls fotovoltaics de la instal·lació

La separació, en metres, entre fileres de mòduls en els diferents camps (que corresponen a cadascuna de les aigües de la coberta), per tal d'evitar problemes amb les pèrdues per ombres entre els mòduls és la següent:

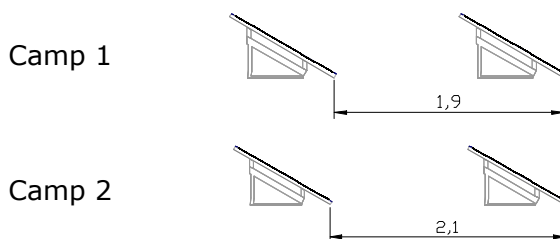


Figura 7: Separació entre fileres de mòduls

La figura 8 mostra l'energia solar que arriba als mòduls amb aquesta inclinació i orientació, i distribuïda al llarg dels mesos de l'any:

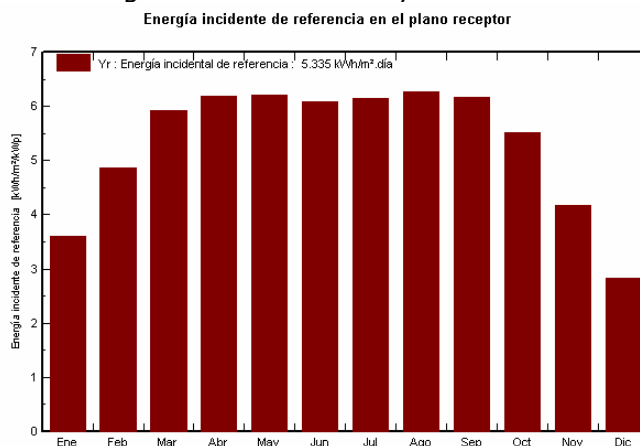


Figura 8: Energia incident en plànol receptor (PVSyst)

7.2.- DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA

La instal·lació fotovoltaica té dos camps fotovoltaics que corresponen a cada una de les ales o aigües de la nau. Cada camp està connectat a un inversor diferent, que injecta energia elèctrica a la xarxa amb punts d'evacuació independents. D'aquesta manera, la potència de sortida de cada inversor no arriba a 100 kW. Amb els dos camps junts i amb un únic inversor la potència seria massa elevada i no es podria realitzar la connexió a xarxa de Baixa Tensió, que és com a màxim 100 kW, segons la normativa de la companyia distribuïdora (*FECSA-ENDESA*). D'aquesta manera hi ha dos connexions a la xarxa de 76 kW en el camp 1 i de 68 kW en el camp 2.

La superfície de captació queda limitada per la superfície que té la coberta de la nau, i s'ha disposat la màxima superfície possible de la coberta amb mòduls fotovoltaics. La figura 9 mostra un esquema simplificat d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa de distribució.

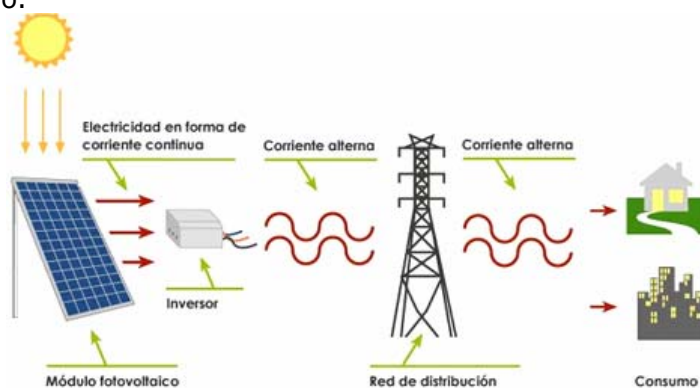


Figura 9: Esquema simplificat d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa de baixa tensió

7.2.1.- Descripció de les línies

Cada camp fotovoltaic està format per un nombre de mòduls diferents, ja que la separació entre fileres de mòduls és diferent a cada ala de la nau, per evitar problemes amb les ombres entre les fileres. Hi ha un total de 690 mòduls de silici cristal·lí, però cada camp fotovoltaic està compost per un nombre diferent de mòduls.

	Nombre de mòduls	Mòduls en sèrie	Branques en paral·lel
Camp 1	360 mòduls	20	18
Camp 2	330 mòduls	22	15

Taula 4: Nombre de mòduls i connexions entre ells

La taula 4 mostra el nombre de mòduls de cada camp i la seva forma de connexió.

La unió de totes les branques en paral·lel en cada camp, va a desembocar a una línia que absorbeix tota l'energia elèctrica contínua produïda pels mòduls, i la porta fins al seu inversor corresponent. De cada inversor, surt un corrent altern que s'aboca a la xarxa.

La secció de conductors de coure es calcula tenint en compte la intensitat màxima i la caiguda de tensió que circularan per les línies.

Les línies estan protegides contra sobretensions i intensitats, i la connexió amb la xarxa de baixa tensió es fa seguint les normatives generals i específiques de la companyia distribuïdora de connexió a la xarxa de baixa tensió.

7.2.2.- Descripció dels mòduls fotovoltaics

El mòdul escollit és el model *HEE215MA65-235* (silici monocristal·lí), del fabricant *Helios Energy Europe (HELIENE)*, que té una potència nominal de 235 Wp i un rendiment del 16%.



Figura 10: Mòdul fotovoltaic de silici monocristal·lí *HEE215MA65-235*

El mòdul fotovoltaic escollit té una bona relació preu/Wp. Amb aquest mòdul, el preu total del sistema de captació, resulta una opció relativament econòmica en comparació amb altres models.

El mòdul escollit és un model de potència elevada, amb el qual s'arriba a una potència considerable de la instal·lació fotovoltaica. El cost del camp fotovoltaic serà elevat, però en produir més energia, s'amortitzarà més ràpidament.

El mòdul escollit és fabricat a Catalunya, (concretament a Badalona), fet que redueix l'impacte ambiental en quant al transport de mòduls, i també implica una bona opció en quant a la reactivació de l'economia del país.

7.4.3.- Descripció dels inversors

A partir de varies simulacions amb diferents inversors mitjançant el software *PVSyst*, s'han escollit dos inversors (un per cada camp fotovoltaic) del fabricant *Santerno*; el model *SUNWAY TG 100-800V* escollit té una potència nominal de sortida de 76 kW i un rendiment del 97,4%. El model *SUNWAY TG 90-600V* té una potència nominal de sortida de 68 kW i un rendiment del 94,6 %. Els dos models tenen les mateixes dimensions.



Figura 11: Inversors *SUNWAY TG 100 - 800V* i *TG 90-600V*

8.- PRESSUPOST DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA DE MÒDULS CRISTAL·LINS ORIENTATS

PARTIDES		
1- Mòduls fotovoltaics	367.483,7 €	
2- Inversors	64.089,6 €	
3- Conductors	4.463,8 €	
4- Proteccions i caixes	6.738,5 €	
5- Tubs i safates	1.768,0 €	
		444.543,5 €
DESPESES GENERALS	81.534 €	
SEGURETAT I SALUT	4.058,46 €	
15 % Benefici industrial	79.520,39 €	
TOTAL PRESSUPOST EXECUCIÓ PER CONTRATA		609.656,34 €
16 % IVA	97.545,01 €	
TOTAL PRESSUPOST		707.201,36 €

El pressupost de la Instal·lació del projecte fotovoltaic ascendeix a la quantitat de **SET-CENTS SET MIL, DOS-CENTS UN MIL EUROS I TRENTA-SIS CÈNTIMS**

Lleida, juliol de 2010

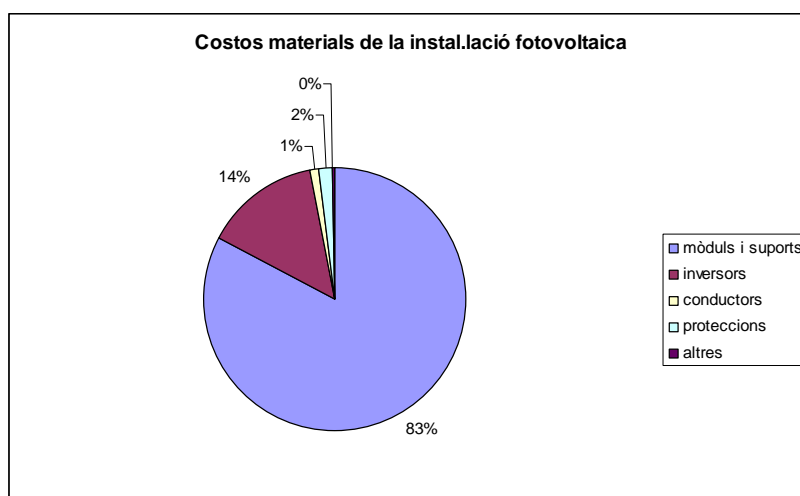


Figura 12: Percentatge dels costos materials de la instal·lació fotovoltaica

9.- PLANIFICACIÓ DE L'EXECUCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ

Una aproximació dels temps necessaris per la instal·lació i muntatge de la instal·lació solar fotovoltaica és necessària per poder planificar els costos de mà d'obra i els treballs de la instal·lació en si mateixa.

Un diagrama de Gantt (Figura 12) mostra les diferents tasques a desenvolupar per l'execució de cadascuna de les parts de la instal·lació amb el temps assignat per a cada tasca. Les tasques, ordenades cronològicament, per a cada instal·lació son les següents:

- | | |
|--|--------------------------|
| ▪ Instal·lació dels suports dels mòduls. | Temps assignat: 2-4 dies |
| ▪ Instal·lació i connexió dels mòduls. | Temps assignat: 3-4 dies |
| ▪ Instal·lació i connexió de les línies fotovoltaïques. | Temps assignat 2 dies |
| ▪ Instal·lació i connexió d' inversors. | Temps assignat : 2 dies |
| ▪ Instal·lació i connexió de les línies derivades. | Temps assignat: 2 dies |
| ▪ Instal·lació i connexió de les proteccions en els quadres. | Temps assignat:1 dia |
| ▪ Connexió posada a terra. | Temps assignat:1 dia |
| ▪ Posada en marxa i verificació de la instal·lació. | Temps assignat: 2 dies |

Es preveu un temps en la realització de la instal·lació de tres setmanes de cinc dies.

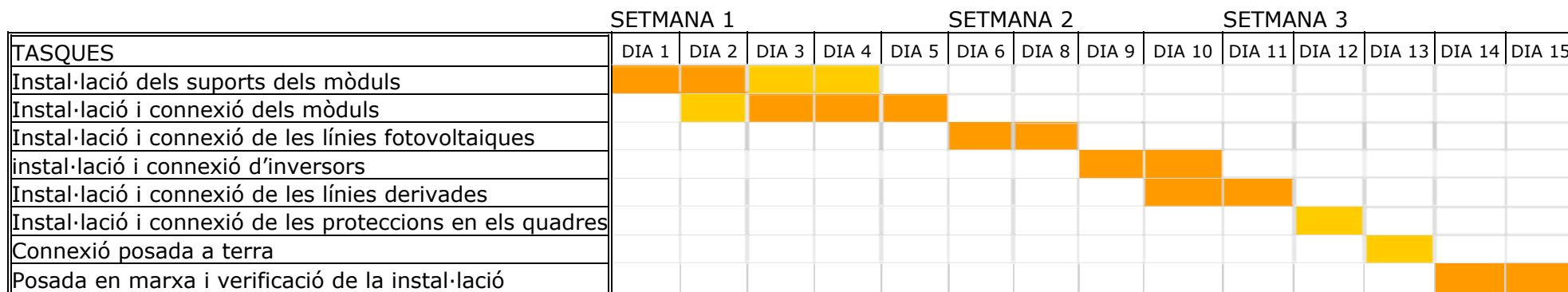


Figura 13: Diagrama de GANTT

10.- NORMES I REFERÈNCIES

Normativa fotovoltaica

- *Llei 54/1997* del Sector Elèctric.
- *Reial Decret 1663/2000*, de 29 de setembre, sobre connexió d'instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió
- *Decret 352/2001*, de 18 de setembre, sobre procediment administratiu aplicable a les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica connectades a la xarxa elèctrica.
- *Instrucció 5/2006* sobre tramitació de les instal·lacions fotovoltaïques que formen part d'un parc solar, de 31 de maig de 2006.
- *Reial Decret 7/1988*, de 8 de gener, relatiu a les exigències de seguretat del material elèctric destinat a ser utilitzat en determinats límits de tensió.
- *Resolució de la Direcció General de Política Energètica i Mines*, de 31 de maig de 2001, per la que es determina el model de contracte tipus i el model de factura per a instal·lacions solars fotovoltaïques connectades a la xarxa de baixa tensió. *BOE* núm. 148 de 21/06/01 Annexos: Esquema unifilar, factura modalitat preu fix, factura modalitat preu vall i punta.
- *Resolució de 27 de setembre de 2007, de la Secretaria General d'Energia*, per la qual s'estableix el termini de manteniment de la tarifa regulada per a la tecnologia fotovoltaica, d'acord amb el que estableix l'article 22 del *Reial Decret 661/2007*, de 25 de maig.
- *Reial Decret 1578/2008*, de 26 de setembre, de retribució de l'activitat de producció d'energia elèctrica mitjançant tecnologia solar fotovoltaica per a instal·lacions posteriors a la data límit de manteniment de la retribució del *Reial Decret 661/2007*, de 25 de maig, per a aquesta tecnologia.

Normativa de Règim Especial

- *Reial Decret 661/2007*, de 25 de maig, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
- *Decret 308/1996*, d'1 de setembre, pel qual s'estableix el procediment administratiu per a l'autorització d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica en règim especial a Catalunya, *DOGC* núm. 2257 de 18/09/1996
- *Ordre de 5/09/1985* per la que s'estableixen normes administratives i tècniques per al funcionament i connexió a les xarxes elèctriques de centrals hidroelèctriques de fins a 5000 kVA i centrals d'autogeneració elèctrica
- *Ordre de 7 de novembre de 2006, del Departamento de Industria, Comercio y Turismo*, per la que s'estableixen normes complementàries per la tramitació de l'atorgament i l'autorització administrativa de les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica connectades a la xarxa elèctrica.
- *Real Decret 436/2004*, de 12 de març, pel qual s'estableix la metodologia per la actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.

11.- BIBLIOGRAFIA

IBÁÑEZ P., M.; ROSELL P., J.R.; ROSELL U., J.I. Universitat de Lleida. *Tecnología solar*. Ediciones Mundi-Prensa 2005. ISBN 84-8476-199-1

LABOURET, M.VILLOZ. *Energía Solar Fotovoltaiica Manual Práctico (Adaptado al Código Técnico de la Edificación)*. Ediciones Mundi-Prensa 2008

MÉNDEZ, J.M; CUERVO G. R.; *Energía Solar Fotovoltaiica*. ECA, Instituto de Tecnología y Formación S.A.U. FC Editorial

ALONSO A., M. *Sistemas fotovoltaicas. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L. 2005. ISBN 84-86913-12-8

Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió, amb Tècniques d'Aplicació. Marcombo 2008, S.A. Assessor Tècnic: Jaume Bladé.

Energía solar fotovoltaica: manual del proyectista. Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). ISBN: 84-9718-257-x

Energía solar fotovoltaica: manual del instalador. Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN). ISBN: 84-9718-259-6

La energía en España 2008. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Centro de Publicaciones. I.S.B.N.: 978-84-96275-86-7
http://www.mityc.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/ENERGIA_2008.pdf

CTE. *Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación*. Abril 2009.
http://www.codigotecnico.org/fileadmin/Ficheros_CTE/Documentos/CTEabr09/DB%20SE-AE%20abril%202009.pdf

Condicions Tècniques i de Seguretat de les Instal·lacions de distribució de FECSA-ENDESA. Norma Tècnica Particular. Instal·lacions Fotovoltaiques Interconnectades a la Xarxa de Distribució de Baixa Tensió" (NTP-FVBT).
<http://www.endesa.es/NR/rdonlyres/ea56ht2tgnpw7ncuughcadbill22i4tot3cq5acy5f55kle2kgvsqttu xo6zymra4xyaexuy33xwnl5dwkdjnrbbmmre/10-NTP-FVBT-Catala.pdf>

Libro Verde. Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético. Oficina de publicaciones de las comunidades europeas. ISBN 92-894-0316-0
http://www.cne.es/cne/doc/interes/Libro_Verde.pdf

Atlas de Radiació solar 2000. Institut Català d'Energia. UPC, ICAEN. Dipòsit Legal: B 24780 - 2001
<http://www20.gencat.cat/docs/icaen/Migracio%20automatica/Documents/Activitats%20i%20dades%20energetiques/Arxius/monografic12.pdf>

Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. Disponible descàrrega pdf en apartat publicacions IDAE.
<http://www.idae.es/index.php>

Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT)
<http://www.electrotecnica.org/2009/08/reglamento-electrotecnico-para-baja.html>

Datos de radiación solar PVGIS
<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

Tràmits per instal·lacions fotovoltaïques en règim especial
http://www.gencat.cat/oge/tramits/regim_especial/fotovoltaica/index.html
http://www.gencat.cat/oge/tramits/regim_especial/fotovoltaica/edificis/20kw/index.html

Portal de energías renovables. *Energía fotovoltaica*.
http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit_actual_renovables/fotovoltaica.htm

Portal de energías renovables. Legislación energía solar fotovoltaica
http://www.energiasrenovables.ciemat.es/?pid=3000&id_seccion=2&dir=legislacion

Precios de edificación y obra civil en España 2010
<http://www.preoc.es/>

Precios y Pliegos de Condiciones Técnicas del Banco BEDEC ITeC
<http://www.construmatica.com/bedec/>

<http://www.solarweb.net>

ANNEX I. DESCRIPCIONS I CÀLCULS

ANNEX I. DESCRIPCIONS I CÀLCULS. INDEX

1.- Captació solar	30
1.1.- INTRODUCCIÓ	30
1.1.1.- <i>Coordenades horàries</i>	31
1.1.2.- <i>Coordenades horitzontals</i>	32
1.2.- CAPTACIÓ FIXA	33
2.- Descripció de la instal·lació solar fotovoltaica.....	35
2.1.- INTRODUCCIÓ	35
2.2.- COMPONENTS DEL SISTEMA FOTOVOLTAIC.....	35
2.2.1.- <i>Subsistema de captació d'energia</i>	35
2.2.1.1.- Mòduls fotovoltaics	36
2.2.1.2.- Paràmetres de funcionament de les cèl·lules fotovoltaïques.....	37
2.2.1.3.- Efectes de la irradiància i la temperatura.....	39
2.2.1.4.- Sistema de suport i orientació dels mòduls	41
2.2.1.5.- Efecte de les ombres	42
2.2.3.- <i>Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric</i>	43
2.2.3.1.- Tipus d'inversors i paràmetres elèctrics.....	44
2.2.3.- <i>Subsistema de transport de l'energia elèctrica</i>	45
2.2.3.1.- Cablejat en el sistema de captació.....	46
2.2.3.2.- Cablejat en l'inversor	47
2.2.4.- <i>Subsistema de control, mesura i protecció</i>	48
2.2.4.1.- Proteccions	48
2.2.4.2.- Posada a terra.....	50
2.3.- CONNEXIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA A LA XARXA BT	52
2.3.1.- <i>Components de la instal·lació</i>	53
2.3.2.- <i>Condicions generals de connexió</i>	54
2.3.3.- <i>Punt de connexió i mesura (PCM)</i>	56
2.3.4.- <i>Conjunts de Protecció i Mesura per a Instal·lacions Fotovoltaïques (CPMFV)</i> 56	
2.3.5.- <i>Equip de mesura</i>	58
2.3.6.- <i>Instal·lació Fotovoltaica IFV</i>	59
2.3.6.1.- Interruptor General Manual de la IFV i Protecció Diferencial	59
2.3.6.2.- Quadre de Comandament i Protecció	59
3.- Càlculs de la instal·lació.....	60
3.1.- RADIACIÓ SOLAR DE L'EMPLAÇAMENT	61
3.2.- SUBSISTEMA DE CAPTACIÓ	63
3.2.1.- <i>Inclinació i orientació òptima dels captadors</i>	63
3.2.2.- <i>Mòdul fotovoltaic escollit i les seves dades. Rendiment</i>	64
3.2.3.- <i>Ombres i càlcul de la distància entre mòduls</i>	65
3.2.4.- <i>Pèrdues per ombres</i>	67
3.2.5.- <i>Determinació del nombre de mòduls</i>	69
3.2.7.- <i>Connexió dels mòduls</i>	69
3.2.8.- <i>Paràmetres elèctrics del subsistema de captació</i>	71
3.2.9.- <i>Correcció de tensió i corrent degudes a la temperatura</i>	72
3.2.10.- <i>Càlcul de les càrregues del camp fotovoltaic sobre la coberta de la nau i accions sobre els mòduls</i>	75
3.3.- SUBSISTEMA D'ADAPTACIÓ DEL SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC.....	77
3.4.- SUBSISTEMA DE TRANSPORT ELÈCTRIC.....	79
3.4.1.- <i>Línia 1 Ramal</i>	82
3.4.2.- <i>Línia 2 Entrada inversor</i>	83
3.4.3.- <i>Línia 3 Sortida inversor</i>	84
3.4.5.- <i>Cablejat de protecció</i>	87
3.4.6.- <i>Canals protectors</i>	88

3.5.- PROTECCIONS.....	88
3.5.1.- Línia Ramal – Caixa de Connexions	89
3.5.2.- Quadre de Control i Protecció IFV.....	90
3.5.3.- Línia sortida inversor –CPMV /GCP	94
3.6.- CÀLCUL DE LA PRODUCCIÓ ELÈCTRICA ANUAL	97
3.7.- RENDIMENT ENERGÈTIC DE LA INSTAL·LACIÓ. PÈRDUES	98

Figura 1. 1: Components de la radiació solar	30
Figura 1. 2: Representació de la latitud terrestre	31
Figura 1. 3: Incliniació d'un mòdul de captació solar	31
Figura 1. 4: Representació de la declinació solar al llarg de l'any	31
Figura 1. 5: Representació de les coordenades horàries: angle horari (ω_s) i declinació (δ_s)	32
Figura 1. 6: Representació de l'altura solar	32
Figura 1. 7: Representació de les coordenades horitzontals: acimut (a_s) i altura solar (γ_s)	32
Figura 1. 8: Definició de l'angle d'incidència sobre un pla inclinat i orientat.....	33

Figura 2. 1: Corba característica I-V d'una cèl·lula solar fotovoltaica	38
Figura 2. 2: Rectangles de màxima potència i de superfície màxima d'una cèl·lula solar	38
Figura 2. 3: Dependència de les corbes I-V del mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235 amb la irradiància solar.....	39
Figura 2. 4: Variació de la corba característica potència-tensió del mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235 amb la irradiància solar	40
Figura 2. 5: Dependència de les corbes I-V del mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235 amb la temperatura	40
Figura 2. 6: Variació de les principals magnituds elèctriques d'una cèl·lula solar fotovoltaica en funció de la temperatura	41
Figura 2. 7: Estructura de suport ANUSOL, model Tramuntana.....	41
Figura 2. 8: Components de l'estructura de suport	42
Figura 2. 9: Representació d'un circuit de posada a terra	50
Figura 2. 10: Esquema TT de posada a terra en CC	51
Figura 2. 11: Esquema de connexió a la xarxa BT ($\leq 100\text{kVA}$).....	53
Figura 2. 12: Esquema dels components d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa BT...	53
Figura 2. 13: Connexió en xarxa subterrània	54
Figura 2. 14: CGP per Línies de Connexió connectades a xarxa subterrània	56
Figura 2. 15: Esquema Unifilar CPMFV (TMF 10)	57
Figura 2. 16: Esquema d'un CPMFV (TMF 10).....	57
Figura 2. 17: Esquema d'equip de Mesura directa per xarxa trifàsica	58

Figura 3. 1: Corbes de la radiació solar mitjana diària captada per una superfície fixa amb inclinació òptima i altres inclinacions, segons les dades recollides en l'estació meteorològica de Lleida-Raimat	62
Figura 3. 2: Variació de l'angle d'inclinació òptim al llarg de l'any per Lleida	63
Figura 3. 3: Optimització de la inclinació (<i>tilt</i>) i orientació (<i>azimuth</i>) per la superfície de captació (font: PVsyst)	63
Figura 3. 4: Ombrejat entre mòduls. Dimensions pel càlcul de separació entre files de mòduls.....	65
Figura 3. 5: Recorregut del Sol en els solsticis d'hivern i estiu	66
Figura 3. 6: Disposició dels mòduls en cada ala (camp) de la coberta	66
Figura 3. 7: Pèrdues degudes a ombres en el camp 1	67
Figura 3. 8: Pèrdues degudes a ombres en el camp 2	67
Figura 3. 9: Nau del projecte i edificis propers	68
Figura 3. 10: Diagrama de Iso-ombrejats del camps 1 i 2 (ombrejat lineal) (PVSyst)	68
Figura 3. 11: Connexió dels mòduls fotovoltaics en els camps fotovoltaics 1 i 2.....	70
Figura 3. 12: Acció de la força del vent sobre el mòdul	75
Figura 3. 13: Variació de l'eficiència dels inversors amb la potència d'entrada.....	78
Figura 3. 14: Interruptor automàtic de 10 A, model <i>S803PV-S10</i> i esquema de connexió.....	90
Figura 3. 15: Protecció contra sobretensió <i>Solartec PST31PV</i> , Classe II, i símbol normalitzat.....	91
Figura 3. 16: Vigilant d'aïllament PROAT, model FAC3/300/I, i característiques tècniques	92
Figura 3. 17: connexió del vigilant d'aïllament i interruptor de CC en la instal·lació fotovoltaica.....	92
Figura 3. 18: Interruptor de CC, PROAT, model INFAC H, i característiques tècniques	92
Figura 3. 19: Interruptor diferencial tetrapolar i símbol normalitzat	94
Figura 3. 20: Interruptor automàtic modular tetrapolar i el seu símbol normalitzat	95
Figura 3. 21: Fusible i portafusible	96
Figura 3. 22: Pèrdues anuals del Camps 1 i 2	101
Figura 3. 23: Produccions normalitzades per kWp instal·lat (camp 1)	102
Figura 3. 24: Factors de pèrdua (%) (camp 1)	102
Figura 3. 25: Produccions normalitzades per kWp instal·lat (camp 2)	103
Figura 3. 26: Factors de pèrdua (%) (camp 2)	103

Taula 3. 1: Situació de l'estació meteorològica de Raimat	61
Taula 3. 2: Taula de la radiació mensual obtinguda en l'estació meteorològica de Lleida-Raimat per una superfície amb acimut 0° (orientació Sud) i amb 30° d'inclinació (Font: <i>Atlas de radiació solar, 2000</i>).....	61
Taula 3. 3: Dades globals de radiació (en l'emplaçament de la nau).....	64
Taula 3. 4: Paràmetres físics i elèctrics (en condicions de mesura estàndard) del mòdul <i>HEE215MA65-235</i>	64
Taula 3. 5: Connexió en sèrie i en paral·lel dels mòduls de cada camp fotovoltaic.....	70
Taula 3. 6: Paràmetres elèctrics dels subsistemes de captació	71
Taula 3. 7: Taula de valors dels paràmetres elèctrics en tenir en compte l'efecte de la temperatura en estiu i en hivern	74
Taula 3. 8: Taula de valors de les càrregues i sobrecàrregues sobre els mòduls i la coberta	76
Taula 3. 9: Característiques elèctriques de l'inversor <i>SUNWAY TG 100-800V</i> (PVSyst)	77
Taula 3. 10: Característiques elèctriques de l'inversor <i>SUNWAY TG 90-600V</i> (PVSyst)	78
Taula 3. 11: Intensitats admissibles (A) a l'aire 40 °C. Nombre de conductors amb càrrega i tipus d'aïllament (2x indica circuit monofàsic) (<i>ITC-BT-19</i>).....	80
Taula 3. 12: Intensitat màxima admissible [A], per cables amb conductors de coure en instal·lació soterrada (<i>ITC-BT-07</i>)	81
Taula 3. 13: Resum dels paràmetres pel càlcul de secció en la "línia 1 ramal".....	83
Taula 3. 14: Nombre de ramals de diferents seccions de conductor en la "línia 1 ramal"	83
Taula 3. 15: Resum dels paràmetres pel càlcul de la secció en la "línia 2 entrada inversor"	84
Taula 3. 16: Factor de correcció F, per temperatura del terreny diferent de 25 °C.....	86
Taula 3. 17: Factors de correcció per diferents profunditats de instal·lació	86
Taula 3. 18: Paràmetres elèctrics pel càlcul de la secció de la "línia 3 sortida inversor"	87
Taula 3. 19: Relació entre les seccions dels conductors de protecció i els de fase	87
Taula 3. 20: Taula resum dels conductors de cada línia	88
Taula 3. 21: Característiques del descarregador <i>Solartec PST31PV</i>	91
Taula 3. 22: Característiques tècniques de l'interruptor <i>Shneider INT. Compact NS 160 NA 2P</i>	93
Taula 3. 23: Energia abocada a la xarxa de cada camp fotovoltaic (sense pèrdues)	98
Taula 3. 24: Energia elèctrica abocada a xarxa (tenint en compte les pèrdues)	101

1.- CAPTACIÓ SOLAR

1.1.- INTRODUCCIÓ

Abans d'introduir-se en el càlcul dels paràmetres elèctrics de la instal·lació, que depenen en gran part de la radiació solar que incideix sobre la coberta, és necessari conèixer alguns termes i les corresponents definicions, en referència a radiacions solars i als principals paràmetres de posició Terra - Sol:

- Radiació solar global (H) [W/m^2]: és la resultant de la suma de les radiacions directa, difusa i reflectida.
- Radiació directa [W/m^2]: és la fracció de la radiació solar global o total que arriba sobre la superfície terrestre atenuada per l'atmosfera però sense cap canvi de direcció.
- Radiació difusa (H_d) [W/m^2]: és la radiació que arriba a un pla horitzontal de la superfície terrestre, integrada per la radiació que es desvia per molècules i partícules en suspensió i per la reflexió deguda a la interacció de la radiació directa i els núvols.
- Radiació reflectida [W/m^2]: és la que procedeix de la reflexió de la radiació en el terra, edificis, etc., i que acaba incidint en una superfície inclinada. Aquesta component de la radiació total no apareix en el cas d'una superfície totalment horitzontal, però és considerable en el cas de superfícies de captació inclinada. Per aquesta raó és important els tipus de materials o terres que hi hauran al voltant de la zona de captació. Aquests materials, si tenen un índex de reflectància (ρ) elevat, poden millorar la captació solar.

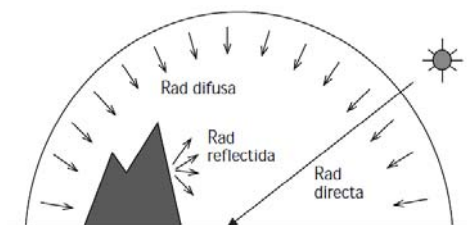


Figura 1. 1: Components de la radiació solar

- Constant solar (G_{sc}) [W/m^2]: és l'energia del Sol, per unitat de temps i de superfície, rebuda fora de l'atmosfera terrestre, en una superfície perpendicular a la direcció de la propagació de la radiació, a la distància mitja entre la Terra i el Sol. El valor conegut més exacte és 1.353 W/m^2 .
- Irradiància extraterrestre (G_{on}) [W/m^2]: és l'energia per unitat de temps i de superfície, que rep un pla horitzontal i paral·lel a la superfície de la Terra, situat a la part exterior de l'atmosfera.

- **Latitud** (Φ) [$^{\circ}$]: és l'angle que forma la vertical del punt geogràfic de la superfície terrestre i el pla de l'equador. Les altituds positives es troben al nord de l'equador i les negatives al sud, mentre que la latitud zero correspon a l'equador.



Figura 1. 2: Representació de la latitud terrestre

- **Inclinació** (β): és l'angle que forma el pla de la superfície captadora i l'horitzontal del punt terrestre que es consideri.

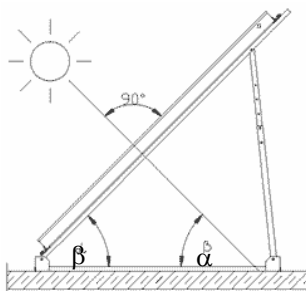


Figura 1. 3: Inclinació d'un mòdul de captació solar

1.1.1.- COORDENADES HORÀRIES

- **Declinació solar** (δ_s) [$^{\circ}$]: és la posició angular del Sol al migdia solar respecte el pla de l'equador terrestre.

És l'angle que forma el pla orbital marcat per la línia Terra-Sol i l'equador terrestre. El valor d'aquest angle varia durant tot l'any entre $\pm 23,45^{\circ}$, degut a la inclinació de l'eix polar (eix de rotació de la Terra), respecte a l'eix normal al pla orbital. Les declinacions són positives al nord de l'equador i negatives al sud.

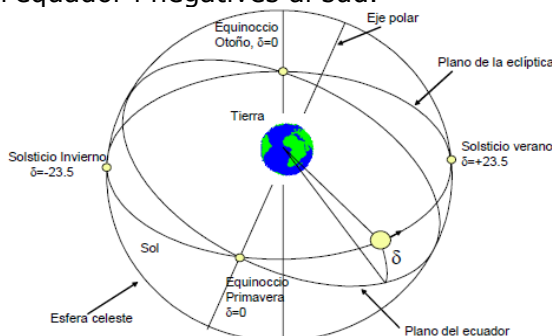


Figura 1. 4: Representació de la declinació solar al llarg de l'any

-

-

- [illegible]

Quan es parla de captadors solars, l'acimut es pren com l'angle que formen la projecció horitzontal de la línia perpendicular a la superfície captadora, i la línia que passa pel captador i el Sud terrestre. L'altitud i l'acimut solar constitueixen les coordenades solars planes i permeten situar el Sol i descriure el seu moviment al llarg de l'any, prenent com a referència el punt d'observació de la Terra.

A partir de les anteriors definicions, representades en les Figures 1.6 i 1.7, la posició del Sol al cel, i per tant la radiació captada pels mòduls solars, és funció de:

1. La posició geogràfica del punt de la Terra, que ve determinada per la latitud (Φ).
2. L'època de l'any, determinada per la declinació solar (δ_s).
3. El moment del dia, determinat per l'angle horari (ω_s).

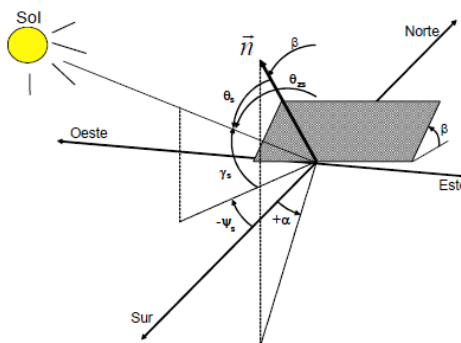


Figura 1. 8: Definició de l'angle d'incidència sobre un pla inclinat i orientat

1.2.- CAPTACIÓ FIXA

En la captació fixa els mòduls es col·loquen en una estructura que els manté en la mateixa posició durant tot l'any. El sistema es caracteritza per la seva facilitat, simplicitat i baix cost de la instal·lació, respecte a altres sistemes de captació que realitzen un seguiment solar. Però té l'inconvenient de tenir una baixa eficiència de captació, degut a no seguir el moviment relatiu del Sol respecte a la Terra.

Aquest moviment relatiu, tant diari com estacional, provoca que els raigs solars no incideixen tot el temps perpendicularment sobre la superfície de captació i, per tant, no s'aconsegueixen els nivells de radiació òptims.

Per tal d'aprofitar al màxim la radiació solar disponible, s'ha de determinar l'orientació i la inclinació del mòduls fotovoltaics i així, poder aconseguir la mitjana anual màxima d'energia solar captada.

A partir de les dades que obtenen les diferents estacions meteorològiques que recullen les dades de radiació solar sobre una superfície inclinada, amb l'angle d'inclinació variable, i també, amb orientació variable (acimuts 0° , 30° , 60° , 90°), es pot determinar amb exactitud la posició en la qual es pot aconseguir una captació anual màxima d'energia solar.

Els captadors han de situar-se de tal manera que al llarg del període anual d'ús aprofitin el màxim la radiació solar disponible. Excepte quan hi ha problemes excepcionals amb les ombres, els captadors s'orienten cap el sud geogràfic en l'hemisferi nord. Desviacions de

fins a 20° cap el SE o SW respecte aquesta orientació no afecten sensiblement al rendiment de sistema.

Es pot afirmar que per obtenir la captació màxima anual en una localitat determinada és convenient situar els mòduls o col·lectors amb una inclinació aproximada a la latitud del lloc. Variacions de $\pm 10^\circ$ en la inclinació respecte l'angle òptim no afecten sensiblement al rendiment.

Si l'aprofitament màxim és necessari a l'estiu, la inclinació s'ha de disminuir uns 15°, i si contràriament es requereix un disseny adient per hivern, s'ha d'augmentar aquesta quantitat.

La inclinació es veu també influenciada pel tipus d'energia rebut. En llocs de baixa altitud, amb brumes i núvols baixos, l'energia anual difusa sobrepassa a l'energia directa, i una inclinació més plana afavoriria la recollida d'energia difusa, amb la qual cosa la baixada de rendiments amb referència amb l'òptim no és important.

En llocs alts, l'energia directa és més important que la difusa, i en el cas de presència de neu, una inclinació més alta permet guanyar energia en hivern, facilitant, a més, la retirada de la neu.

Per connectar un conjunt format per un gran nombre de mòduls, s'ha de vigilar i equilibrar els corrents i tensions si es vol aconseguir la major potència possible. Sobre la base de les característiques mesurades dels mòduls, s'agrupen en sèrie els panells de mateix corrent nominal, procurant igualar la suma de les tensions de potència nominal de cada cadena. L'orientació dels mòduls serà la mateixa per evitar que un panell menys il·luminat limiti el corrent de tota la sèrie.

Per optimitzar l'energia anual produïda en funció d'una superfície disponible, es variarà la inclinació dels mòduls i la distància entre ells mateixos, tenint en compte les condicions climàtiques locals i les radiacions solars quan el sol està baix en l'horitzó. A partir de simulacions es poden calcular varis cassos ràpidament, i escollir el desitjat.

Si la superfície és limitada, l'òptim serà reduir la inclinació i tolerar algun percentatge de pèrdues en relació a la màxima sense ombres i límit de superfície. La reducció de la inclinació té altres avantatges:

- els suports poden ser més petits i per tant, més barats
- la sensibilitat al vent és menor
- la potència instal·lada és més elevada
- el rendiment difús és millor
- impacte arquitectònic menor

2.- DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.- INTRODUCCIÓ

En aquest tipus de sistema, la totalitat de l'energia elèctrica produïda s'entrega a la xarxa elèctrica. La diferència entre l'energia elèctrica entregada per la instal·lació fotovoltaica a la xarxa elèctrica i la que consumeix la instal·lació fotovoltaica, és facturada a un preu reglamentàriament establert per l'administració –o pactat amb la companyia- i suposa un ingrés econòmic, mentre que l'energia elèctrica consumida per la resta d'instal·lacions s'ha de comprar a la companyia distribuïdora al preu del mercat. En aquest tipus d'instal·lacions no és necessari, per tant, vincular el dimensionament de la instal·lació fotovoltaica al consum estimat de la instal·lació elèctrica de la nau, ja que aquesta última s'alimenta directament de la xarxa elèctrica com una instal·lació elèctrica convencional.

Actualment, amb l'objectiu d'incentivar la instal·lació de sistemes fotovoltaics connectats a la xarxa, les Administracions apliquen una important prima perquè el preu del kWh abocat a la xarxa sigui elevat, per tal que les inversions realitzades s'amorteixin en un temps raonable.

Una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa elèctrica té menys components que una instal·lació autònoma, degut, fonamentalment, a que no es precisa d'un sistema de emmagatzematge d'energia (bateries) ni, en conseqüència, d'un regulador. L'energia elèctrica generada pels mòduls fotovoltaics passa directament a l'inversor, que la transforma i l'entrega –després de passar pels elements de mesura i protecció corresponents –com a corrent alterna, a la xarxa.

S'han d'instal·lar, dos comptadors, un d'exportació i altre d'importació, per comptabilitzar l'energia venuda i comprada de la xarxa.

2.2.- COMPONENTS DEL SISTEMA FOTOVOLTAIC

2.2.1.- SUBSISTEMA DE CAPTACIÓ D'ENERGIA

El *subsistema de captació d'energia* està format per un conjunt de mòduls o panells fotovoltaics, connectats convenientment, que realitzen la captació de l'energia procedent del Sol i la transformen, directament, en energia elèctrica, en forma de tensió i corrent contínua.

Des del punt de vista del disseny i dimensionament de la instal·lació fotovoltaica en el seu conjunt, ha de quedar perfectament establert el tipus d'estructura que suporten els mòduls (en aquest cas fixa). La quantitat d'energia elèctrica que es produirà durant un temps de referència depèn en gran mesura de tres factors:

- les característiques climatològiques reals (durant el temps considerat)
- l'eficiència dels mòduls fotovoltaics
- la quantitat de radiació solar que incideix sobre la superfície dels mòduls (que depèn de la orientació dels mòduls respecte del Sol, i de la seva inclinació)

Quan es planifica la distribució dels mòduls s'ha de reduir l'efecte de les ombres d'estructures properes sobre els panells, ja que si no es pot veure reduïda la producció d'energia elèctrica.

També es pot produir un deteriorament prematur dels panells ombrejats; això s'evita mitjançant la introducció de díodes de pas (*bypass*), que curtcircuiten els panells ombrejats, impedit que actuïn com a càrregues i se sobreescalfin.

Els panells fotovoltaics disposen d'altres elements per facilitar l'execució de les instal·lacions, com són:

- Cables o conductors
- Fusibles
- Caixes de connexions
- Borns de posada a terra

Els conductors per interconnectar els mòduls entre si i amb la resta de la instal·lació, en estar situats a l'exterior, han de ser de doble aïllament resistent als raigs ultraviolats i a les altes temperatures, o estar protegits mitjançant tubs o safates, i amb la secció adequada per suportar les intensitats de corrent en règim de càrrega nominal i en cas de curtcircuit, i també minimitzar la caiguda de tensió.

L'elecció dels mòduls i de l'estructura ha de seguir el criteri d'una relació òptima entre el cost d'adquisició i instal·lació i l'eficiència de generació d'energia elèctrica.

2.2.1.1.- Mòduls fotovoltaics

El mòdul fotovoltaic és l'element de la instal·lació solar encarregat de transformar l'energia solar en electricitat en forma de corrent continu.

Un mòdul fotovoltaic està format per un conjunt de cèl·lules solars (o petits generadors d'intensitat) connectades en sèrie, -o en grups de cèl·lules connectades en sèrie disposades en paral·lel, en el cas de mòduls de gran potència-, encapsulades entre un vidre temprat i vàries capes de material plàstic.

El conjunt es reforça amb perfils metàl·lics d'alumini que formen un marc exterior que dóna rigidesa i facilita poder col·locar el mòdul a l'estructura de suport. A la part posterior del mòdul, s'hi ubica la caixa, o caixes, de connexions amb els terminals, identificant el positiu i el negatiu.

Els components que conformen el mòdul fotovoltaic són els següents:

- Cèl·lula solar: formada per material semiconductor amb la particularitat de transformar la radiació solar en electricitat, mitjançant l'efecte fotovoltaic. La cèl·lula solar més habitual és una làmina de silici d'un gruix aproximat de 0,3 mm i d'una superfície entre 10x10 cm i 16x16 cm.
- Coberta exterior: té una funció protectora, ja que és la que pateix l'acció dels agents atmosfèrics. Es fa servir el vidre temprat ja que presenta una bona protecció contra els impactes i té una excel·lent transmissió de la radiació solar. L'espessor més habitual és de 4 mm.
- Capes encapsulants: són les encarregades d'envoltar les cèl·lules solars i els seus contactes. El material més emprat és l'etilen-vinilacetat o EVA, que proporciona una excel·lent transmissió de la radiació solar, així com una nul·la degradació davant les radiacions ultraviolades. També, dóna certa elasticitat al conjunt de cèl·lules, davant les possibles vibracions exteriors en l'ús del mòdul.
- Protecció posterior: la seva missió consisteix, fonamentalment, en protegir contra els agents atmosfèrics, exercint una barrera aïllant contra la humitat. Normalment, es fan servir materials acrílics, com *TEDLAT* o EVA. Sovint són de color blanc, ja que això afavoreix el rendiment del panell, gràcies al reflex que es produeix en les cèl·lules.

- Marc de suport: és la part que dona robustesa mecànica al conjunt i que permet ubicar-lo en les estructures que agrupen els mòduls. Normalment, és d'alumini anoditzat i està proveït dels forats necessaris per ancorar-lo a un bastidor, evitant així haver-lo de manipular posteriorment. Porten acoblats una presa de terra, per prevenir de possibles contactes no desitjats a l'usuari.

Les característiques d'un mòdul fotovoltaic venen determinades pel tipus de cèl·lula emprada. Hi ha tres tipus bàsics de mòduls fotovoltaics:

- Mòdul de silici monocristal·lí: presenta una tonalitat uniforme de les oblees i ofereix un rendiment d'un 14-16%. És el tipus de mòdul escollit per aquesta instal·lació.
- Mòdul de silici policristal·lí: presenta una tonalitat poligràfica de les oblees i ofereix un rendiment d'un 13-15%.
- Mòdul de silici amorf: presenta un to fosc uniforme i ofereix un rendiment d'un 6-8%.

2.2.1.2.- Paràmetres de funcionament de les cèl·lules fotovoltaïques

Els paràmetres elèctrics que defineixen el funcionament de la cèl·lula solar són:

- *Intensitat de curtcircuit, I_{SC}* . És la intensitat del corrent elèctric que s'obté de la cèl·lula quan, en absència de càrregues externes i després d'haver-se curtcircuitat en els seus terminals, la tensió entre borns és nul·la. Constitueix el màxim corrent que es pot obtenir. El seu valor típic és de desenes de miliampers (10-40 mA) per cm^2 de cèl·lula.

Posar un mòdul en curtcircuit no el fa malbé, ja que aquest corrent és molt similar al corrent de funcionament. No obstant, si el mòdul té una potència gran, és l'objecte que està en l'origen del curtcircuit, el que corre el risc de resultar danyat, amb risc de sobreescalfament.

- *Tensió en circuit obert, V_{OC}* . És la tensió per a la qual el corrent extret de la cèl·lula és nul. Constitueix la màxima tensió que es pot obtenir de la cèl·lula quan no hi connectat cap consum i la intensitat que circula és nul·la. En dispositius de silici de tipus mig es situa entorn a 0,6 V.

- *Potència màxima o Potència Pic, P* . La potència que s'extrau de la cèl·lula ve donada pel producte de corrent i tensió, $I \cdot V$ i es representa en la figura 2.1 mitjançant una línia de traços i punts. S'observa que tant en curtcircuit com en circuit obert la potència generada és nul·la. Existeix un punt d'operació (I_p , V_p) en el qual la potència dissipada en la càrrega és màxima, denominat punt de màxima potència. La potència màxima o pic, P , és la potència màxima que pot generar una cèl·lula fotovoltaica sota unes condicions estàndard de la radiació incident, i s'obté com el producte de la tensió pic i la intensitat pic:

$$P = I_p \cdot V_p$$

Essent la *intensitat pic*, I_p , i la *tensió pic*, V_p , els valors de la intensitat i la tensió pels quals la potència subministrada per la cèl·lula arriba el valor màxim possible, en unes condicions normalitzades.

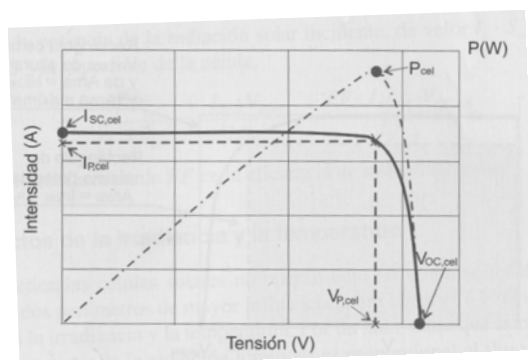


Figura 2. 1: Corba característica I-V d'una cèl·lula solar fotovoltaica

Les definicions d'aquests paràmetres característics de les cèl·lules també són vàlides per caracteritzar els mòduls, constituïts a partir d'un conjunt de cèl·lules solars.

- Factor de forma (FF). És el quocient entre la màxima potència que es pot obtenir ($I_p \cdot V_p$) i el producte $I_{sc} \cdot V_{oc}$. El rectangle que dona la potència màxima és de superfície més petita que la corresponent al producte $I_{sc} \cdot V_{oc}$. El factor de forma FF és una mesura de la desviació que presenta una cèl·lula respecte la rectangularitat, essent un indicador de la qualitat de la cèl·lula.

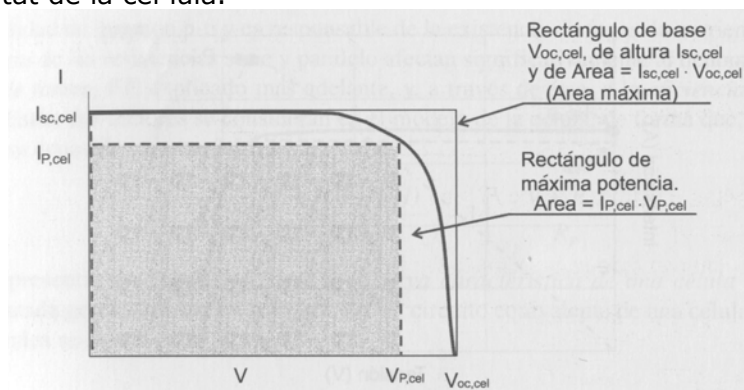


Figura 2. 2: Rectangles de màxima potència i de superfície màxima d'una cèl·lula solar

- Eficiència o rendiment (η). És el quocient entre la potència màxima que el mòdul pot entregar i la potència de la radiació solar incident, de valor $I_s \cdot S_{cel}$, essent I_s la irradiància i S_{cel} la superfície de la cèl·lula. Depenent de la tecnologia utilitzada en la fabricació del panell, pot arribar fins un 18%.

Tots aquests paràmetres fonamentals són proporcionats pels fabricants, però s'ha de tenir en compte que no són constants, ja que els fabricants prenen com a referència unes condicions de funcionament conegudes com "condicions estàndard de mesura" (CEM), que són:

Irradiància: 1000 W/m^2
Temperatura de cèl·lula: 25°C
Nivell del mar

Les condicions a les que es veu sotmès el mòdul en el seu funcionament normal, són diferents a les *CEM*, i això canviarà les característiques dels panells fotovoltaics. Aquest canvi dels paràmetres fonamentals és molt important pel disseny de la instal·lació, ja que és molt possible que en condicions normals de funcionament estiguin allunyades de les condicions estàndard.

Per això és necessari conèixer dos paràmetres importants:

- *Coeficient de temperatura V_{OC}* . És el coeficient de correcció per a la tensió màxima que es produeix a circuit obert quan no existeix cap càrrega connectada. Aquest coeficient mostra com varia la tensió amb una variació de temperatura. La tensió de circuit obert augmenta quan la temperatura disminueix i disminueix quan la temperatura augmenta.
- *Coeficient de temperatura I_{SC}* . És el coeficient de correcció pel corrent màxim que es produeix en el mòdul quan no hi ha connectada cap càrrega i es curtcircuiten els borns del panell. Aquest coeficient mostra com varia la intensitat amb una variació de temperatura. La intensitat de curtcircuit augmenta quan augmenta la temperatura i disminueix quan disminueix la temperatura.

Amb aquests coeficients de temperatura es poden representar els comportaments dels mòduls amb variacions de temperatura.

En el següent apartat s'estudia amb més detall l'efecte de la temperatura i els paràmetres dels mòduls fotovoltaics.

2.2.1.3.- Efectes de la irradiància i la temperatura

A la pràctica les cèl·lules solars no treballen sota condicions de certificació estàndard (*CEM*). Els dos paràmetres de més influència sobre la corba *I-V* d'una cèl·lula són la irradiància i la temperatura.

La *intensitat de curtcircuit*, I_{SC} , d'una cèl·lula solar és directament proporcional a la intensitat de la il·luminació incident: davant un determinat augment o disminució percentual de la il·luminació, la intensitat es veu modificada amb un canvi percentual similar en el mateix sentit. La Figura 2.3 mostra les variacions de les corbes *I-V* del mòdul fotovoltaic de la instal·lació fotovoltaica:

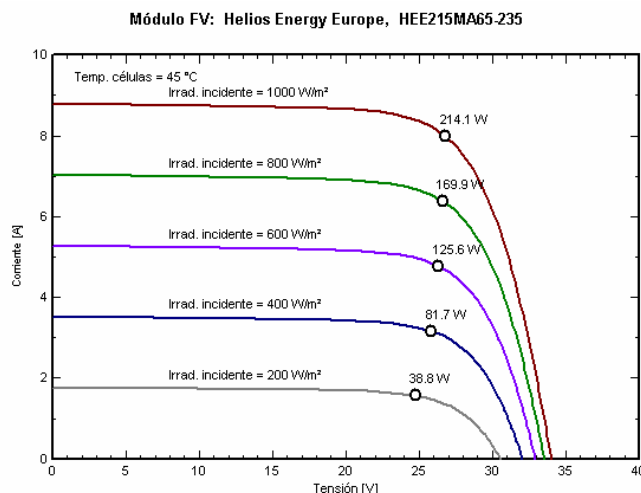


Figura 2. 3: Dependència de les corbes *I-V* del mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235 amb la irradiància solar

En canvi, la *tensió de circuit obert*, V_{OC} , no experimenta grans variacions en modificar-se les condicions de la radiació solar. En conseqüència, la potència generada és pràcticament proporcional a la irradiància.

Módulo FV: Helios Energy Europe, HEE215MA65-235

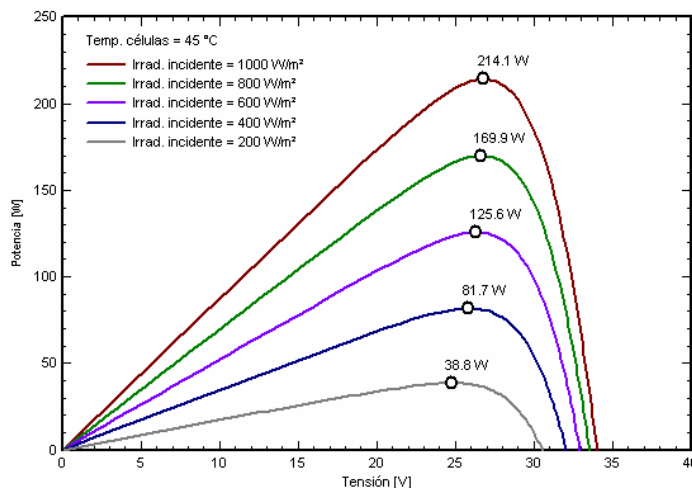


Figura 2. 4: Variació de la corba característica potència-tensió del mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235 amb la irradiància solar

La proporcionalitat amb la irradiància permet el càlcul de la producció diària fàcilment i l'estabilitat de les tensions facilita el disseny de mòduls per aconseguir tensions determinades. Amb irradiàncies inferiors a 200 W/m² la producció de les cèl·lules de silici monocristal·lí és pràcticament despreciable.

L'efecte de la temperatura sobre la corba I - V és diferent, segons es mostra a la Figura 2.5. En augmentar la temperatura, la tensió de circuit obert disminueix sobre l'ordre d'uns pocs milivolts per cada grau centígrad que augmenta la temperatura (2,3 mV/°C per cèl·lules de Si). L'eficiència de la cèl·lula disminueix en augmentar la temperatura (0,4-0,5% per °C en les cèl·lules de Si).

Módulo FV: Helios Energy Europe, HEE215MA65-235

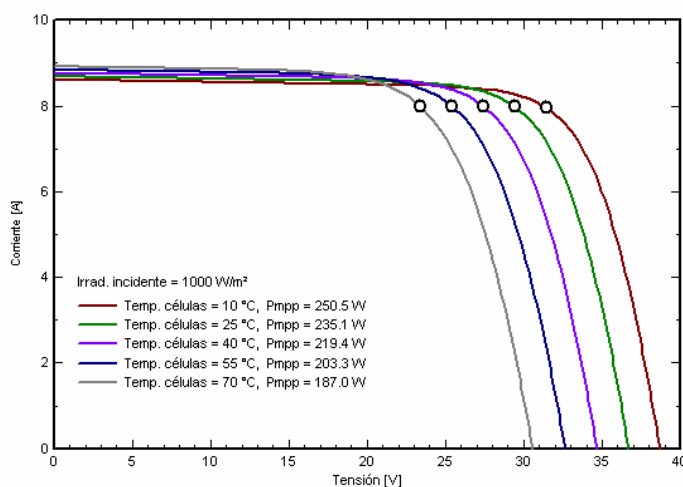


Figura 2. 5: Dependència de les corbes I - V del mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235 amb la temperatura

La intensitat de corrent de curtcircuit, és pràcticament constant (en realitat, augmenta lleugerament en fer-ho la temperatura). La Figura 2.6 mostra les variacions de les principals característiques elèctriques d'una cèl·lula solar en funció de la temperatura.

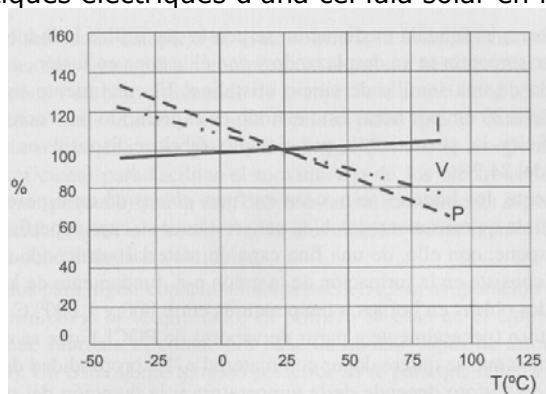


Figura 2. 6: Variació de les principals magnituds elèctriques d'una cèl·lula solar fotovoltaica en funció de la temperatura

2.2.1.4.- Sistema de suport i orientació dels mòduls

Existeixen diversos tipus i models d'estructures de suport per a mòduls solars. Normalment existeixen estructures metàl·liques per suportar els panells, bé subministrades pel propi fabricant o bé fabricades a mida.

Algunes d'aquestes estructures ja estan dissenyades pels propis fabricants, la qual cosa facilita el seu disseny, elecció i muntatge. Pot donar-se el cas de que la instal·lació projectada requereixi una solució no estandarditzada, ja sigui per grandària, forma constructiva o criteris d'integració arquitectònica.

En qualsevol cas, s'han de tenir en compte aspectes relatius a resistència de materials, dilatacions tèrmiques, transferències de càrregues, estanquitat, etc., ajustant-se a les exigències indicades en la part corresponent del CTE i demés normativa d'aplicació.

Per la ubicació del generador fotovoltaic (mòduls) sobre la coberta, s'ha de buscar que amb l'estructura de suport, els mòduls tinguin:

- l'orientació al sud
- l'angle d'inclinació definit, en funció del disseny de la instal·lació



Figura 2. 7: Estructura de suport ANUSOL, model Tramuntana

Ja que els mòduls fotovoltaics s'instal·len en l'exterior, és precís que els suports siguin resistents a la corrosió. S'escull una estructura i cargols d'acer inoxidable o d'alumini anoditzat. La corrosió és un fenomen que apareix en la unió de dos materials metàl·lics amb potencials electroquímics diferents (destrueix progressivament el material amb menor potencial). Per això no s'han d'associar metalls diferents sense una protecció.

Tant l'estructura de suport com els topes de subjecció dels mòduls no han de fer ombra sobre els mòduls. La constitució tant de l'estructura de suport com el sistema de fixació de mòduls permetrà les necessàries dilatacions tèrmiques, sense transmetre càrregues que puguin afectar a la integritat dels mòduls.

Les estructures estan formades per carrils amb perfils amb grapa mascle on es fixaran els mòduls, amb perfils de grapa femella a l'estructura suport. En la part final de cada carril, es disposa una ròtula que permet la variació de la inclinació de l'estructura. Les potes posteriors on es recolza l'estructura poden lliscar per abatre l'estructura fins l'angle d'inclinació desitjat.

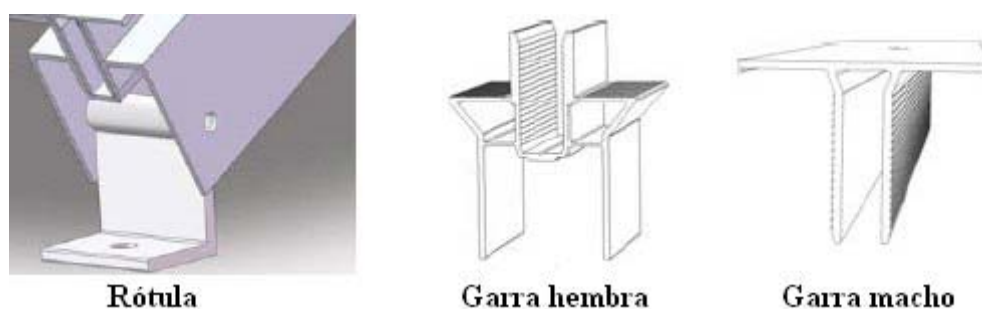


Figura 2. 8: Components de l'estructura de suport

El càlcul de les estructures de suport s'ha de realitzar correctament, en funció dels pes dels mòduls, de la resistència del vent, i en el seu cas, del pes de la neu. Veure apartat 3.2.10 ("Càlcul de les càrregues del camp fotovoltaic sobre la coberta de la nau i accions sobre els mòduls").

2.2.1.5.- Efecte de les ombres

L'efecte de les ombres sobre les radiacions rebudes és difícil d'estimar intuïtivament, i no el pot donar un mètode simple per avaluar-lo, inclús de manera grollera.

S'ha de prestar molta atenció a les ombres parcials, encara que siguin durant un moment. Només que una sola cèl·lula estigui en ombra, perquè el corrent de tota la cadena en sèrie es vegi limitada, el que pot tenir greus conseqüències en els mòduls, si no estan equipats amb díodes "shunt" (o de derivació). Un mòdul que no tingui una bona exposició, pot convertir-se un receptor dels altres mòduls, i rebre la potència en sentit invers. Per evitar aquest problema es col·loca un díode antiretorn de potència adient a la sortida de cada sèrie de mòduls. La majoria de mòduls ja porten díodes d'aquest tipus incorporats.

Aquests díodes es solen col·locar en els mateixos armaris de connexions que serveixen per reunir els cables procedents dels mòduls, descarregant la potència total a través d'un cable més gruixut.

S'ha de tenir molta cura amb els muntatges dels mòduls ordenats en fileres. Per limitar les ombres entre fileres, s'ha de connectar tots els mòduls per la part de sota de les fileres.

Es pot avaluar l'efecte que les ombres properes tenen sobre la radiació solar directa. Per això es necessita el coneixement exacte dels obstacles propers en tres dimensions; els obstacles se situen sobre les corbes que donen el curs del sol en els diferents períodes de l'any (aquest curs de sol es coneix amb precisió i depèn de la latitud, longitud i altitud). Generalment les pèrdues es concentren en els mesos de l'any quan el Sol està més baix. Aquest càlcul és complicat, i només té en compte les pèrdues en radiació directa. Per altra banda, els obstacles propers o llunyans oculten també una part de les radiacions difuses, cosa que passa durant tot l'any. Aquest efecte és complex i a vegades se subestima, sobre tot en les regions amb forta proporció de radiacions difuses (en latituds mitjanes).

Per l'estimació del càlcul de pèrdues per ombres, veure l'apartat 3.2.4 (Pèrdues per ombres).

2.2.3.- SUBSISTEMA D'ADAPTACIÓ DEL SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC

La missió del *subsistema d'adaptació del subministrament elèctric* consisteix en fer compatibles entre sí les característiques elèctriques (tensió, intensitat, freqüència...) dels diferents subsistemes que componen la instal·lació. Normalment són necessàries dos adaptacions:

- adaptació dels nivells de tensió continua entre subsistemes (mitjançant convertidors de tensió contínua a contínua)
- transformació a corrent alterna i la modificació del valor de la tensió (mitjançant inversors u onduladors)

Els inversors són els dispositius que transformen el corrent continu (CC) subministrat pels mòduls fotovoltaics, en corrent altern (CA), necessari per alimentar la majoria de receptors domèstics i industrials, i en aquest cas, per entregar a la xarxa de baixa tensió. Els inversors de menor potència subministren tensió alterna monofàsica, mentre que els de major potència poden ser també monofàsics o subministrar directament tensió trifàsica. Es pot realitzar un subministrament trifàsic a partir de tres inversors monofàsics connectats i sincronitzats convenientment.

Les característiques de la tensió alterna generada per un inversor (forma d'ona, harmònics presents, freqüència, tensió...) són els paràmetres de qualitat més importants.

Els inversors connectats a la xarxa, també anomenats inversors síncrons, s'utilitzen en instal·lacions connectades a la xarxa de distribució d'una companyia elèctrica. Els inversors síncrons han de produir CA sincronitzada amb la CA de la xarxa a la que està interconnectat, és a dir, han de tenir les mateixes seqüències de fases, tensió i freqüència que la xarxa elèctrica, i les formes d'ona de la xarxa i els inversors han d'estar en fase. La qualitat de la forma d'ona de l'inversor ha de ser acceptable.

La majoria dels inversors síncrons es desconnecten de la xarxa quan el sistema fotovoltaic no genera energia elèctrica.

L'eficiència dels inversors varia en funció de la potència que subministra, de manera que l'eficiència nominal subministrada pel fabricant correspon a l'eficiència màxima, corresponent a un determinat nivell de càrrega.

Alguns inversors operen amb l'eficiència màxima quan treballen entre el 50% y el 75% de la potència nominal, i descendeix en els extrems de la demanda de potència (són poc eficients a potències molt baixes o molt altes). Resulta de gran interès conèixer la corba d'eficiència de l'inversor en funció de la potència entregada i ajustar al màxim la potència del receptor amb la potència de màxim rendiment de l'inversor.

Per evitar que el rendiment disminueixi amb la variació de potència d'entrada dels mòduls, els inversors han d'estar equipats amb dispositius electrònics que permeten fer un seguiment del punt de màxima potència del mòdul, permetent obtenir la màxima eficiència del generador fotovoltaic en qualsevol circumstància de funcionament.

Un dels paràmetres importants és el rang de tensions al qual pot funcionar l'inversor perquè el rendiment sigui òptim per a les diferents condicions de treball a diferents temperatures, que fan variar aquesta tensió.

2.2.3.1.- Tipus d'inversors i paràmetres elèctrics

Els inversors s'encarreguen de transformar el corrent continu (DC, o CC), en corrent altern (AC). Actualment existeixen en el mercat tres tipus d'inversors de corrent atenent a la forma i característiques de l'ona produïda:

- Inversor d'ona quadrada: aquests inversors són els més barats del mercat, a més són els menys eficients i la seva potència no acostuma a sobrepassar els 500 W. Aquests inversors no són aptes per a instal·lacions de connexió de xarxa.
- Inversor d'ona sinusoïdal modificada: són més sofisticats que els anteriors però no proporcionen la qualitat d'ona exigida en la connexió de xarxa, amb el que no és aconsellable el seu ús en aquest tipus d'instal·lacions.
- Inversor d'ona sinusoïdal pura: aquest és l'inversor més sofisticat i car que hi ha actualment. Estan controlats per un microprocessador que proporciona una gran qualitat d'ona amb mínimes distorsions i grans rendiments de fins al 96% que els fa adequats per a injectar corrent a la xarxa general de distribució elèctrica.

Segons la instal·lació solar fotovoltaica que es realitza en aquest projecte, s'escull model d'inversor d'ona sinusoïdal pura que són els més adequats per a injectar corrent a la xarxa general de distribució elèctrica.

Els inversors es caracteritzen per dos potències característiques: la *potència de servei continu* i la *potència pic o en servei intermitent*.

- Potència en servei continu, P_{inv}

Un inversor es dimensiona per satisfer la demanda de potència en règim permanent per transmetre a la xarxa. La potència de l'inversor en servei continu, P_{inv} , serà igual a la potència que s'entrega a la xarxa.

- Potència pic o en servei intermitent, $P_{p,inv}$

S'ha d'assegurar que el tipus d'inversor seleccionat tingui una potència pic o en servei intermitent, $P_{p,inv}$, capaç de subministrar els pics sobre potències transitòries que es presenten. En el cas d'una connexió a la xarxa, com és el cas, no cal tenir en compte aquesta potència pic, ja que la xarxa elèctrica no presenta pics de consum transitoris que afectin l'inversor.

Ambdues potències, P_{inv} i $P_{p,inv}$, es refereixen a les potències de sortida, és a dir, subministrades per l'inversor cap a la xarxa. Les corresponents potències d'entrada, és a dir, absorbides per l'inversor, s'obtenen de dividir les anteriors pel seu rendiment.

La potència dels inversors no es solia proporcionar en W, sinó en VA (degut a que la potència activa que subministren depèn del factor de potència de la instal·lació a la que aboquen). Per aprofitar al màxim la capacitat dels inversors (aspecte important si es té en compte que tenen un elevat cost), resulta molt aconsellable corregir el factor de potència de les instal·lacions receptores fins pràcticament la unitat, connectant un sistema de condensadors en paral·lel amb la instal·lació. En aquestes circumstàncies ($\cos \varphi = 1$), la potència aparent de la instal·lació (VA) coincideix amb la potència activa W. Actualment els inversors de connexió a la xarxa tenen dispositius que igualen el factor de potència a la unitat i per tant, es pot parlar directament de W.

2.2.3.- SUBSISTEMA DE TRANSPORT DE L'ENERGIA ELÈCTRICA

El transport de l'energia elèctrica es realitza a través dels diferents subsistemes de la instal·lació fotovoltaica mitjançant canalitzacions o línies elèctriques, generalment cables conductors de secció circular.

Els criteris a tenir en compte a l'hora de dissenyar aquest subsistema, són els mateixos que en qualsevol instal·lació elèctrica de baixa tensió:

- Tipus de cable. Material del conductor (coure, alumini...), si és rígid o flexible, unipolar o multiconductor, tipus d'aïllament (PVC, etilè-propilè, goma butílica, polietilè reticular,...), el tipus de coberta protectora.
- La manera d'instal·lació del cable. Si es tracta de línia aèria, subterrània o interior.
- La secció dels conductors. S'estableix mitjançant l'aplicació dels següents criteris, adoptant-ne la secció més gran de les seccions obtingudes:

- *Intensitat màxima admissible* pels conductors en règim permanent. La temperatura d'equilibri del conductor és directament proporcional a la intensitat del corrent i inversament proporcional a la secció del conductor.

- *Caiguda de tensió màxima admissible*. En el cas més comú és suficient considerar únicament la resistència, R , dels conductors a l'hora de calcular la caiguda de tensió en la línia (de corrent contínua, alterna monofàsica o alterna trifàsica).

La resistència d'un conductor cilíndric es funció de la resistivitat del material (ρ_e , en $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$), de la longitud, L , i de la secció S

$$R = \rho_e \cdot L / S$$

La c.d.t. (caiguda de tensió) augmenta com més longitud tingui la línia i menor sigui la seva secció

- *Intensitat màxima admissible* pels conductors en cas de curtcircuit. En cas d'existència d'un curtcircuit l'augment de temperatura en el conductor ha de ser inferior a la màxima temperatura que suporta l'aïllant durant el temps que dura el curtcircuit (que depèn dels dispositius de protecció, com els interruptors automàtics i fusibles).

El dimensionament dels conductors que formen el subsistema de transport de l'energia elèctrica s'ha de realitzar en compliment de les prescripcions del *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, REBT* (RD 842/2002, de 2 de agosto, publicat en el "BOE" de 18 de setembre de 2002, suplement del núm. 224), i de manera especial, les *Instrucciones Técnicas Complementarias*: ITC-BT-06, ITC-BT-07, i ITC-BT-19.

Dels diferents subsistemes que constitueixen un sistema fotovoltaic, mereixen un tractament especial, en el dimensionament dels conductors, el subsistema de captació fotovoltaica i les connexions amb els inversors. La resta de la instal·lació segueix les pautes normals de disseny de les instal·lacions elèctriques convencionals.

En tots els cassos, les intensitats màximes admissibles pels conductors s'han de disminuir, a més, en funció de les condicions de la instal·lació i de manera especial, han d'aplicar-se els factors de correcció de la intensitat establerts pel *REBT*.

S'han d'escollir materials aïllants adequats a les condicions ambientals de les línies. Es recomana que l'aïllament dels cables del subsistema de captació d'energia, suporti temperatures de 90°C, i que la coberta protectora suporti condicions ambientals extremes.

La secció dels conductors, de cada línia, s'ha d'establir mitjançant els següents criteris:

- la intensitat màxima admissible pels conductors en règim permanent
- la intensitat màxima admissible pels conductors en cas de curtcircuit
- caiguda de tensió màxima admissible

La instal·lació dels canals protectors on van allotjats els conductors del circuit es farà tal i com mostra la norma ITC-BT-21:

- La instal·lació i posada en obra dels canals protectors haurà de complir en la norma UNE 20.460-5-52 i les Instruccions ITC-BT-19 i ITC-BT-20.
- El traçat de les canalitzacions es farà seguint preferentment línies verticals i horitzontals, o paral·leles a les arestes de les parets que limiten el local on se situa la instal·lació.
- Els canals amb conductivitat elèctrica han de connectar-se amb la xarxa de terra, per tal que la seva continuïtat elèctrica quedi convenientment assegurada.
- No es podran utilitzar els canals com a conductors de protecció o de neutre, excepte en el que es disposa en la Instrucció ITC-BT-18 per canalitzacions prefabricades.
- La tapa dels canals quedarà sempre accessible.

2.2.3.1.- Cablejat en el sistema de captació

Les intensitats de curtcircuit, $I_{SC,mod}$ (i $I_{P,mod}$), i tensions en circuit obert, $V_{OC,mod}$ (i $V_{P,mod}$) dels mòduls fotovoltaics facilitats pels fabricants corresponen a unes condicions d'assaig estandarditzades de 1000 W.m⁻² d'irradiància (potència solar per m²) i una temperatura de mòdul fotovoltaic de 25°C.

Els valors de $I_{SC,mod}$ i de $V_{OC,mod}$ es veuen afectats pels canvis que puguin experimentar els paràmetres solars anteriors (veure apartat 2.2.1.3 Efectes de la irradiància i la temperatura).

La intensitat de curtcircuit, $I_{SC,mod}$, es veu incrementada en augmentar la irradiància i la temperatura. La radiació pot arribar ocasionalment a valors de 1200 W.m⁻² en moments d'alta irradiació solar; la temperatura habitual de funcionament dels panels pot ser de 75°C o superior. Per tot això, la intensitat màxima subministrada pels mòduls ha d'estar sobredimensionada respecte a la intensitat de curtcircuit, aconsellant un sobredimensionat del 25%. Per tant, la intensitat màxima subministrada pels mòduls fotovoltaics es prendrà igual a:

$$I_{Max,mod} = 1,25 I_{SC,mod}$$

A part d'aquest factor, es pot establir també que les intensitats màximes que circulin per una línia es sobredimensionin amb un factor addicional igual a 1,25 perquè els conductors treballin com a màxim al 80% de la seva capacitat, de manera que la secció dels conductors s'escull d'acord amb la intensitat resultant

$$I_{\text{Conductor}} > 1,25 \cdot 1,25 \cdot I_{\text{SC},\text{mod}}$$

El Reglament Espanyol estableix l'ús de l'anterior factor 1,25 únicament per línies que alimenten motors o altres receptors amb una elevada intensitat de posada en marxa (no és el cas d'aquest projecte).

Si es desitja una seguretat afegida i a la vegada disminuir la caiguda de tensió, els conductors que transporten corrent elèctric procedent directament dels mòduls fotovoltaics han d'admetre el pas d'una intensitat com a mínim igual a:

$$I_{\text{Conductor},\text{mod}} > 1,25 \cdot I_{\text{SC},\text{mod}} \quad (\text{cas general})$$

$$I_{\text{Conductor},\text{mod}} > 1,25 \cdot 1,25 \cdot I_{\text{SC},\text{mod}} \quad (\text{seguretat reforçada})$$

La tensió en circuit obert, $V_{\text{OC},\text{mod}}$, augmenta en disminuir la temperatura, de manera que, en dies freds però solejats, la tensió en circuit obert pot superar àmpliament el valor facilitat pel fabricant. Per tenir en compte aquest fet, s'ha de prendre com a tensió màxima dels mòduls (i per extensió, la tensió màxima del subsistema de captació d'energia), la tensió en circuit obert facilitada pel fabricant, multiplicada per un factor, normalment 1,25. En conseqüència, la tensió d'aïllament dels conductors s'ha d'escollir considerant aquest factor:

$$1,25 \cdot V_{\text{OC},\text{mod}}$$

2.2.3.2.- Cablejat en l'inversor

Els conductors s'han de dimensionar per suportar la màxima intensitat que poden absorbir els inversors.

El valor mínim de la tensió del subsistema de acumulació amb el que pot funcionar l'inversor, és $V_{\text{Min T}}$, i per tant la intensitat màxima permanent de la línia d'alimentació (CC) dels inversors serà:

$$I_{\text{Max inv}} = P_{\text{inv}} / (V_{\text{Min T}} \cdot \eta_{\text{inv}})$$

Essent P_{inv} la potència de l'inversor i η_{inv} l'eficiència de l'inversor a plena potència (no necessàriament igual a l'eficiència màxima de l'inversor). Per tant, la intensitat que ha de suportar el conductor és:

$$I_{\text{Conductor},\text{inv}} > I_{\text{Max inv}} = P_{\text{inv}} / (V_{\text{Min T}} \cdot \eta_{\text{inv}})$$

2.2.4.- SUBSISTEMA DE CONTROL, MESURA I PROTECCIÓ

Els dispositius de control depenen de la complexitat i requeriments de la instal·lació fotovoltaica. Les seves funcions són:

- supervisió dels paràmetres característics de la instal·lació (temperatures, intensitats, tensions, demanda i subministrament de potència, etc.)
- la supervisió i control d'aquestes funcions es realitza mitjançant un sistema electrònic de control (ordinador, autòmat programable o un controlador específic)

La mesura de l'energia elèctrica produïda i consumida pel sistema fotovoltaic es fa imprescindible, en cas d'instal·lacions connectades a la xarxa. S'utilitzen comptadors d'energia elèctrica (energia activa, kWh). Segons el nivell de potència de la instal·lació i la reglamentació aplicable, pot ser necessari instal·lar comptadors d'energia reactiva (kVAr.h entregats o consumits) monofàsics o trifàsics.

2.2.4.1.- Proteccions

La instal·lació ha d'incorporar dispositius i sistemes de protecció perquè el seu funcionament es realitzi amb un alt nivell de seguretat, tant per les persones com pels béns. El número, característiques i prestacions dels dispositius de protecció depèn de les característiques del sistema fotovoltaic i de les prescripcions reglamentàries.

- A) Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits, mitjançant interruptors automàtics i/o fusibles.
- B) Protecció contra contactes directes i indirectes; generalment mitjançant instal·lacions de posada a terra de les masses (elements conductors que en condicions normals no estan en tensió però que poden estar-ho) i la instal·lació d'interruptors diferencials.
- C) Protecció contra sobretensions que puguin presentar-se, ja sigui en la pròpia instal·lació o transmeses per la xarxa elèctrica pública. Es fa mitjançant la instal·lació de parallamps o descarregadors autovàlvules, que en presentar-se una sobre tensió, la deriven a terra.

En general, es seguirà el *REBT*, però cal tenir en compte aquells aspectes importants que són peculiars de les instal·lacions fotovoltaïques:

- Els dispositius de protecció que s'instal·lin en línies CC, han d'estar dissenyats per funcionar en CC, és a dir, no serveixen, en principi, els dispositius que s'usen en les línies de CA.
- Els díodes de protecció dels mòduls fotovoltaics han d'estar protegits contra sobreintensitats que no puguin assumir, ja que si no es destruiran i deixaran de realitzar la funció per a la qual s'havien instal·lat.
- En la majoria dels dispositius per la protecció contra sobreintensitats (fusibles i disjuntors), s'assagen i especifiquen les seves propietats pel funcionament en continu (més de 3 hores seguides) quan circula una intensitat igual al 80% de la intensitat nominal. Degut a que els generadors fotovoltaics produeixen electricitat durant períodes superior a les 3 hores, els dispositius de protecció instal·lats es poden sobreescalfar i perdre les seves prestacions especificades pel 100% de càrrega. Per evitar això, tots els dispositius de protecció s'han de dimensionar per treballar, en continu, al 80% de la seva intensitat nominal, o dit d'una altra manera, la intensitat nominal dels dispositius de protecció ha de ser, com a mínim igual a 1,25 vegades la intensitat màxima, de llarga durada, que circularà en la

línia. A més, la intensitat màxima admissible pels conductors, després d'aplicar tots els factors de correcció corresponents, ha de ser superior a la intensitat nominal dels dispositius de protecció contra sobreintensitats.

La introducció del criteri de sobredimensionament del 25% (factor 1,25) pels dispositius de protecció contra sobreintensitats equival a aplicar en tots els cassos, un factor de sobredimensionament dels conductors igual a 1,25 com a mínim, és a dir suposa situar-se en el cas de seguretat reforçada.

El *REBT* no obliga a aplicar el factor 1,25 als dispositius de protecció contra sobreintensitats, però la seva aplicació significa disposar d'un marge de seguretat addicional.

Els diferents dispositius de connexió maniobra i protecció elèctrics estan dissenyats perquè els seus terminals de connexió funcionin a una temperatura màxima, normalment 60 o 75 °C. Si s'utilitzen cables de temperatura nominal superior a la màxima que suporten els terminals, els dispositius poden perdre les seves funcions i prestacions.

Per evitar això s'hauria de comprovar que la intensitat màxima dels conductors sigui tal que la seva temperatura no superi la temperatura màxima permesa als terminals dels dispositius.

El *REBT* no repara en aquests aspectes, per la qual cosa no és d'obligat compliment. Com a exemple, per connectar un conductor amb aïllament de 90 °C a uns terminals de 75 °C s'hauria de reduir la intensitat màxima admissible del conductor un 30%.

les funcions de connexió i desconexió dels diferents components de la instal·lació. És convenient que tots els subsistemes integrants de la instal·lació disposin d'un dispositiu de maniobra per permetre la seva desconexió i aïllament per poder realitzar treballs de manteniment i reparació. Els dispositius de maniobra més habituals són els *interruptors* (que permeten connectar i desconectar una línia elèctrica quan els receptors estan funcionant, és a dir, permeten la supressió i l'establiment d'intensitats menors o iguals a la intensitat nominal de l'interruptor) i els *seccionadors* (que permeten connectar i desconectar una línia elèctrica quan els receptors no estan en funcionament, és a dir, quan no circula intensitat per la línia. La connexió o desconexió de dispositius portafusibles, de terminals i endolls, que s'ha de realitzar quan no circula intensitat per la línia, es poden considerar equiparables a un *seccionador*).

La interrupció de corrent presenta més problemes en circuits en corrent contínua que en corrent altern. En el corrent altern existeix un pas natural del corrent pel valor zero en cada semiperíode, al qual correspon un apagat espontani de l'arc que es forma quan s'obre el circuit. En el corrent continu això no succeeix i per extingir l'arc, és precís que el corrent disminueixi fins la seva anul·lació. És necessari que la interrupció es realitzi gradualment, sense brusques anul·lacions del corrent, que donarien lloc a elevades sobretensions.

En tots els cassos s'han d'escollir els dispositius de maniobra perquè les seves intensitats nominals siguin superiors a les màximes que es puguin presentar.

En molts països es requereix una connexió a terra de les instal·lacions fotovoltaïques, ja que és un medi per protegir persones contra contactes indirectes de parts de la instal·lació que estiguin a tensions perilloses (mitjançant la posada a terra de les masses i la instal·lació d'interruptors diferencials) per disminuir la possibilitat de transmissió de sobretensions (mitjançant la posada a terra d'un dels conductors actius en CC, o del neutre en CA). Les dos terres anteriors han de ser independents.

A Espanya, d'acord amb el *Real Decreto 1663/2000*, de 29 de setembre, sobre connexió d'instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió (Anexo III), tan sols es fa referència explícita a l'existència de la posada a terra de les masses i interruptor diferencial (articles 11 i 12).

2.2.4.2.- Posada a terra

La posada a terra s'utilitza en les instal·lacions elèctriques per evitar el pas de corrent a l'usuari per una fallada d'aïllament dels conductors actius. Es un camí de poca resistència a qualsevol corrent de fuga per tal que tanqui el circuit a terra en lloc de passar a través de l'usuari. El cable de terra s'identifica per tenir l'aïllament de color verd i groc.

Per a la protecció de la pròpia instal·lació i del personal, el *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* estableix que han de connectar-se correctament totes les masses metàl·liques d'una instal·lació a terra, amb l'objectiu d'aconseguir que el conjunt d'instal·lacions, edificis i superfície propera, no apareguin diferències de potencial perilloses i que, al mateix temps, permeti el pas a terra dels corrents de defecte o les descàrregues d'origen atmosfèric.

La connexió a terra és la unió elèctrica directa, sense fusibles ni protecció, d'una part del circuit elèctric o d'una part conductora no pertanyent al mateix, mitjançant una presa a terra amb un elèctrode o grups d'elèctrodes soterrats en el terreny.

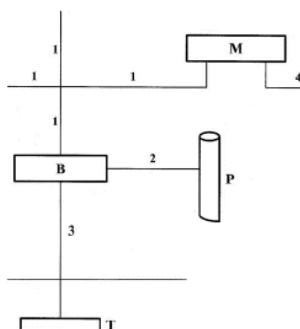
Segons la norma ITC-BT-18 "*Instalaciones de puesta a tierra*", la posada a terra d'una instal·lació està composta per:

Preses de terra. Són elèctrodes formats per barres, tubs platines o malles que estan en contacte directe amb el terreny on es drenarà el corrent de fuga que es pugui produir en algun moment. Aquestes preses de terra han de ser de materials específics i estaran soterrats a una profunditat adient per les característiques de la instal·lació a protegir.

Conductors de terra. Són els conductors que uneixen l'elèctrode de la presa de terra de la instal·lació amb el born principal de posada a terra.

Borns de presa de terra. Són la unió de tots els conductors de protecció de la instal·lació que provenen dels diferents elements o masses a protegir.

Conductors de protecció. Serveixen per unir elèctricament les masses d'una instal·lació a certs elements, amb la finalitat d'assegurar la protecció contra contactes indirectes. Uniran les masses al born de presa de terra i al conductor de terra.



- 1.-conductor de protecció
- 2.-conductor d'unió equipotencial principal
- 3.-conductor de terra
- 4.-conductor d' equipotencialitat suplementària
- B- Born de posada a terra
- M- Massa
- C- Element conductor
- P- Canalització principal metàl·lica d'aigua
- T- Presa de terra

Figura 2. 9: Representació d'un circuit de posada a terra

Segons la ITC 40 (*Instal·lacions generadores de baixa tensió*), quan la xarxa de distribució pública tingui el neutre posat a terra, l'esquema de posada a terra ha de ser el TT i s'ha de connectar les masses de la instal·lació i els receptors a una terra independent de la del neutre de la xarxa de distribució pública.

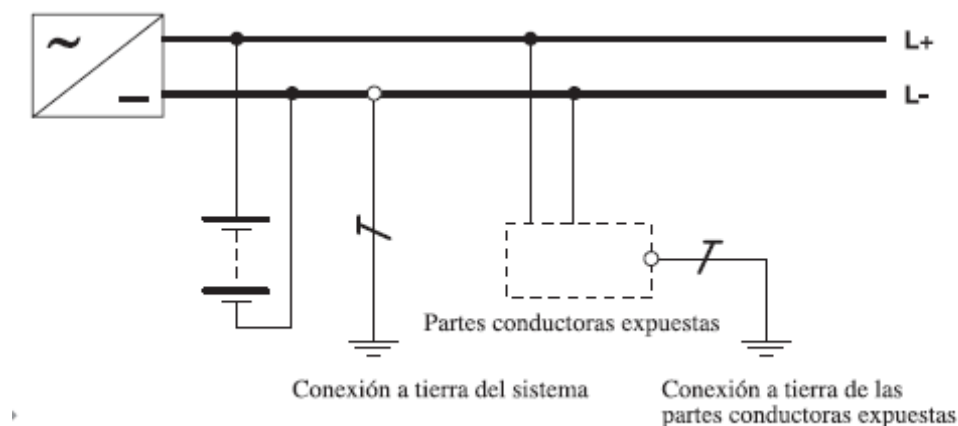
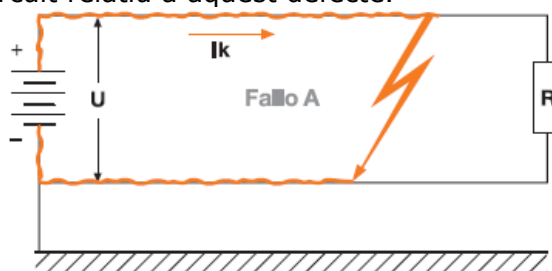


Figura 2. 10: Esquema TT de posada a terra en CC

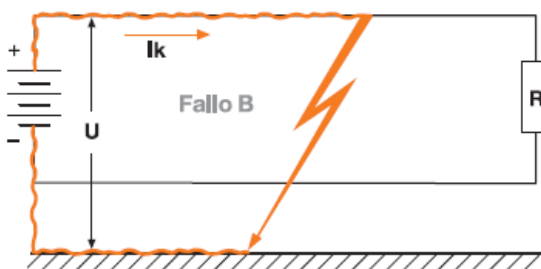
Totes les masses dels equips elèctrics protegits per un mateix dispositiu de protecció, han de ser interconnectades i unides per un conductor de protecció a una mateixa presa de terra. Si varis dispositius de protecció estan muntats en sèrie, aquesta prescripció s'aplica per separat a les masses protegides per cada dispositiu. El punt neutre de cada generador, o un conductor de fase de cada generador ha de posar-se a terra.

Hi ha tres tipus de defectes que es poden produir en aquesta posada a terra:

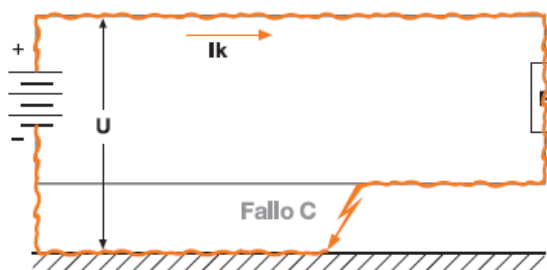
- A) Defecte entre les dos polaritats; és un corrent de curtcircuit alimentat per la plena tensió U . La capacitat de tall de l'interruptor automàtic s'ha d'escollir en funció del corrent de curtcircuit relatiu a aquest defecte.



- B) Defecte amb polaritat no posada a terra; estableix un corrent que afecta a les proteccions contra sobrecorrent, en funció de la resistència del terreny



- C) Defecte en la polaritat posada a terra; estableix un corrent que afecta a les proteccions contra sobrecorrent en funció de la resistència del terreny. Aquest corrent presenta un valor molt baix, ja que depèn de la impedància del terreny i la U és propera a zero (ja que la caiguda de tensió en la càrrega redueix encara més el seu valor).



En aquest tipus de xarxa, el tipus de defecte que afecta a la versió de l'interruptor automàtic i a la connexió dels pols és un defecte tipus A (entre les dos polaritats), encara que també és necessari tenir en compte el defecte entre la polaritat no posada a terra i la pròpia terra (defecte B), ja que com s'ha descrit anteriorment, un corrent (el valor del qual depèn també de la impedància del terreny i és difícil d'avaluar) podria circular a plena tensió; per aquest motiu, tots els pols de l'interruptor automàtic necessaris per la protecció haurien de connectar-se en sèrie en la polaritat no posada a terra.

La posada a terra de la instal·lació fotovoltaica serà independent del neutre de la xarxa de *FECSA-ENDESA*. Es farà de manera que no s'alterin les condicions de posada a terra de la xarxa de *FECSA-ENDESA*.

La posada a terra de les instal·lacions fotovoltaïques interconnectades es farà sempre que no s'alterin les condicions de posada a terra de la xarxa de l'empresa distribuïdora, assegurant que no es produeixin transferències de defectes a la xarxa de distribució. La instal·lació disposarà d'una separació galvànica entre la xarxa de distribució de baixa tensió i les instal·lacions fotovoltaïques, per mitjà d'un transformador d'aïllament o qualsevol altre medi que compleixi les mateixes funcions.

2.3.- CONNEXIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA A LA XARXA BT

Les connexions de les instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa en Baixa Tensió (BT) es troben regulades per una sèrie de normatives. Es poden connectar instal·lacions fotovoltaïques en baixa tensió sempre que les potències nominals no superin els 100 kVA. A més, la suma de les potències de les instal·lacions en règim especial connectades a una línia BT no podrà superar la meitat de la capacitat de transport d'aquesta línia en el punt de connexió.

Les connexions de les instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de Baixa Tensió es troben regulades per les següents normatives:

- RD 1663/2000 sobre conexiones de instalaciones FV a la red de BT
- ITC-40 del REBT. Instalaciones generadoras de BT.
- RD 661/2007 que regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- UNE 61727 Sistemas FV. Características de la interfaz de conexión a la red.
- UNE 61173 Protección contra las sobretensiones de los sistemas FV productores de energía.

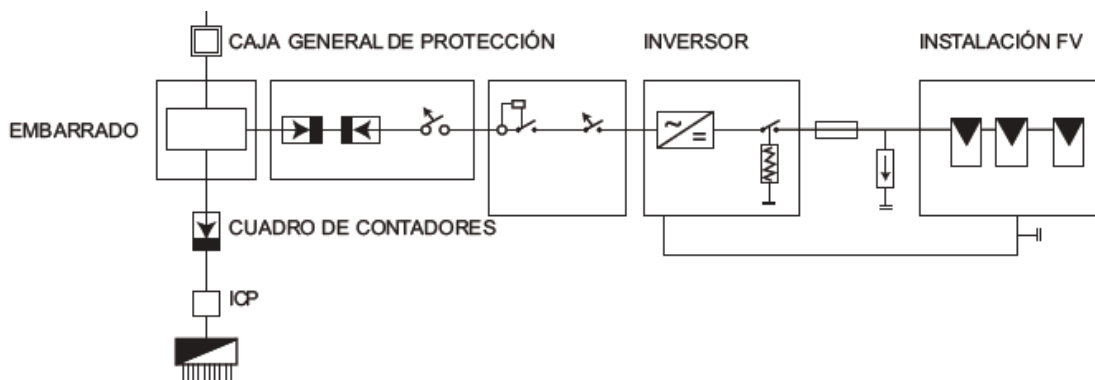


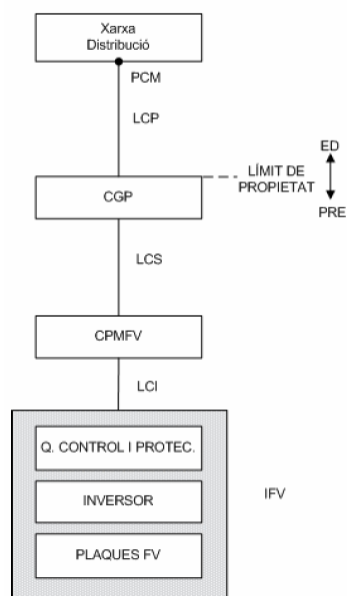
Figura 2. 11: Esquema de connexió a la xarxa BT ($\leq 100\text{kVA}$)

S'ha de tenir en compte la normativa de la companyia distribuïdora on s'injectarà l'energia de la instal·lació fotovoltaica. Aquesta normativa de *FECSA-ENDESA* és la "Norma Tècnica Particular. Instal·lacions Fotovoltaiques Interconnectades a la Xarxa de Distribució de Baixa Tensió" (*NTP-FVBT*), i és aplicable per instal·lacions fotovoltaiques que no superin els 100 kVA.

S'ha de demanar a la companyia elèctrica dos punts de connexió per cada camp fotovoltaic, ja que injectar una potència superior als 100 kW, suposaria un altre tipus de connexió a la xarxa, que encariria molt el projecte.

2.3.1.- COMPONENTS DE LA INSTAL·LACIÓ

Les instal·lacions d'enllaç de les centrals fotovoltaiques de Baixa Tensió estan constituïdes pels següents components (Figura 2.12):



- Línia de Connexió Primària (LPC)
- Caixa General de Protecció (CGP)
- Línia de Connexió Secundària (LCS)
- Conjunt de Protecció i Mesura per a Instal·lacions Fotovoltaiques (CPMFV)
- Línia de Connexió a la Instal·lació (LCI)
- Instal·lació Fotovoltaica (IFV), composta per:
 - Quadre de Control i Protecció
 - Inversors
 - Plaques Fotovoltaiques

Figura 2. 12: Esquema dels components d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa BT.

PCM és el Punt de Connexió i Mesura, i és el punt de la xarxa de distribució existent on es connecta la Línia de connexió; és el punt frontera entra la xarxa de distribució existent i la instal·lació d'extensió.

- Línia de Connexió Primària (LCP): tram de la línia de Connexió entre el PCM i la CGP o conjunt de Protecció i Mesura. Es correspondria amb l'*Escomesa* en instal·lacions d'usuari.
- Línia de Connexió Secundària (LCS). És el tram de la línia de connexió entre la CGP i el Conjunt de Protecció i Mesura. Es correspondria amb la *Línia General d'Alimentació* en instal·lacions d'usuari.
- Línia de Connexió de la Instal·lació (LCI). És el tram de la Línia de Connexió entre el Conjunt de Protecció i Mesura i la Instal·lació Fotovoltaica. Es correspondria amb la *Derivació Individual* en instal·lacions d'usuari.

En el cas d'una connexió a xarxa subterrània, l'esquema de connexió és que mostra la Figura 2.13:

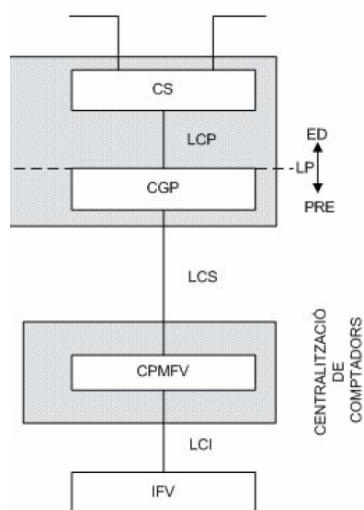


Figura 2. 13: Connexió en xarxa subterrània

2.3.2.- CONDICIONS GENERALS DE CONNEXIÓ

Hi ha una sèrie de regles específiques per poder realitzar la connexió amb la xarxa de la companyia distribuïdora. Algunes de les condicions més importants són:

- ☐ La tensió nominal serà de 400 V pel dimensionament de instal·lacions trifàsiques i una potència màxima de 100 kVA.
- ☐ El factor de potència serà el més proper a 1
- ☐ La instal·lació ha d'estar dissenyada per un corrent de curtcircuit de la xarxa de Baixa Tensió de 10 kA.

- Les instal·lacions fotovoltaiques es connectaran directament a la xarxa de distribució FECSA-ENDESA en el Punt de Connexió i Mesura (PCM), que serà determinat per l'empresa distribuïdora, procurant que sigui el punt més proper possible al lloc d'ubicació de la instal·lació fotovoltaica.
- La connexió o desconexió de la Instal·lació fotovoltaica no provocarà en el punt de Connexió variacions superiors al 5 % de la tensió.
- La suma de les potències de les instal·lacions de Règim Especial connectades a aquesta línia de BT, no superarà el 50 % de la capacitat tèrmica de la línia.
- La potència de la instal·lació no pot superar el 5 % de la potència de curtcircuit en el punt de connexió.
- La connexió de la instal·lació fotovoltaica no afectarà el funcionament normal de la xarxa ni a la qualitat del subministrament dels clients connectats.

Les proteccions de corrent altern estaran ubicades a la sortida de l'inversor, per la protecció dels circuits i connexió a la xarxa de la instal·lació, un cop el corrent continu s'ha convertit en corrent altern.

El sistema de proteccions d'aquest tram es basa en la normativa vigent sobre la connexió d'instal·lacions fotovoltaiques a la xarxa de baixa tensió, en l'article 11 de l'*R.D. 1663/2000*. A més s'ha de tenir en compte els requisits de connexió de l'empresa propietària de la distribució d'energia elèctrica en el punt de connexió a la xarxa, en aquest cas *FECSA-ENDESA*. Les proteccions que han d'existir són:

- ◊ Protecció per la interconnexió de màxima i mínima freqüència (51 Hz i 49 Hz respectivament) i de màxima i mínima tensió (1,1 i 0,85 Um, respectivament).
- ◊ Interruptor general manual, que serà un interruptor magnetotèrmic amb intensitat de curtcircuit superior a la indicada per la empresa distribuïdora en el punt de connexió. Aquest interruptor serà accessible a l'empresa distribuïdora en tot moment, amb l'objectiu de poder realitzar la desconexió manual.
- ◊ Interruptor magnetotèrmic diferencial, per protegir les persones en el cas de derivacions d'algun element de la part contínua de la instal·lació.
- ◊ Interruptor automàtic de la interconnexió, per la desconexió-connexió automàtica de la instal·lació fotovoltaica en cas de pèrdua de tensió o freqüència de la xarxa, juntament amb un relé d'enclavament.

Segons la normativa, l'equip inversor utilitzat en la instal·lació pot incorporar alguna d'aquestes proteccions. Si és així, segons l'*RD1663/2000*, només es precisarà disposar addicionalment de les proteccions general manual i interruptor automàtic diferencial.

Els inversors seleccionats per aquesta instal·lació, incorpora les funcions de protecció de màxima i mínima tensió i de màxima i mínima freqüència. A més aquests inversors tenen un transformador que proporciona la separació galvànica entre la xarxa de distribució de baixa tensió i la instal·lació fotovoltaica.

Per tant, les proteccions que s'instal·laran en aquest tram de CA són: interruptor general manual (magnetotèrmic) i un interruptor automàtic diferencial. A més de la condició de FECSA-ENDESA d'incorporar un fusible en la interconnexió ja que la seva actuació és més ràpida que la dels magnetotèrmics.

2.3.3.- PUNT DE CONNEXIÓ I MESURA (PCM)

La connexió a la xarxa es realitzarà sempre mitjançant una Caixa General de Protecció o element funcional equivalent. Aquesta CGP serà exclusiva per aquest ús, i per tant, independent de qualsevol altra CGP que ja existeixi.

Les CGP són les caixes que allotgen els elements de protecció de les línies de connexió. Les CGP assenyalen el principi de la propietat de les instal·lacions, sent elles mateixes de la seva propietat. Aquestes CGP s'utilitzen com a punt d'interconnexió a la xarxa de Baixa Tensió.

Se situarà en llocs lliures i d'accés permanent, sobre les façanes exteriors de l'edifici. Quan l'escomesa sigui subterrània s'instal·larà en la paret amb armari tancat amb porta preferentment metàl·lica. Pel cas d'instal·lacions en les quals el CPMFV estigui complint els requeriments indicats per a les CGP, els fusibles del CPMFV assumeixen la funció del CGP.

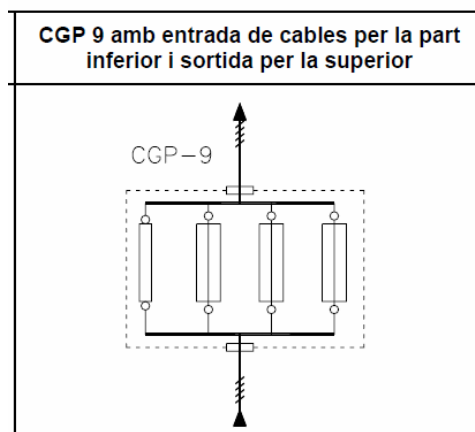


Figura 2. 14: CGP per Línies de Connexió connectades a xarxa subterrània

Les GCP per línia de connexió connectada a xarxa subterrània han d'haver 3 bases unipolars tancades (BUC) i el corrent màxim dels fusibles que s'han de col·locar és de 160 A.

2.3.4.- CONJUNTS DE PROTECCIÓ I MESURA PER A INSTAL·LACIONS FOTOVOLTAIQUES (CPMFV)

Les unitats funcionals que constitueixen els CPMFV són:

- Unitat funcional de CGP
- Unitat funcional de mesura
- Unitat funcional de comunicacions
- Unitat funcional d'interruptor General Manual
- Unitat funcional de protecció diferencial
- Unitat funcional de dispositius de sortida

La Figura 2.15 mostra l'esquema unifilar tipus TMF 10, que és l'indicat per aquesta instal·lació (> 5 kVA):

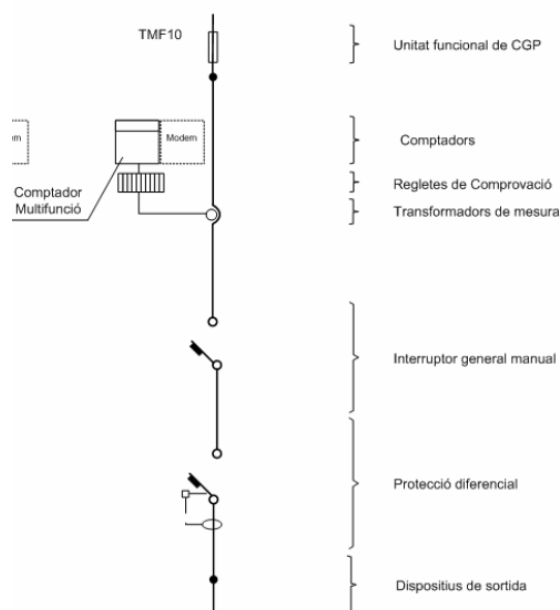


Figura 2. 15: Esquema Unifilar CPMFV (TMF 10)

El CPMFV s'instal·la en llocs d'accés lliure i permanent, i al costat de la Caixa de Seccionament quan aquesta existeixi. Es col·loca en el límit de la propietat, sobre la façana exterior de l'edifici.

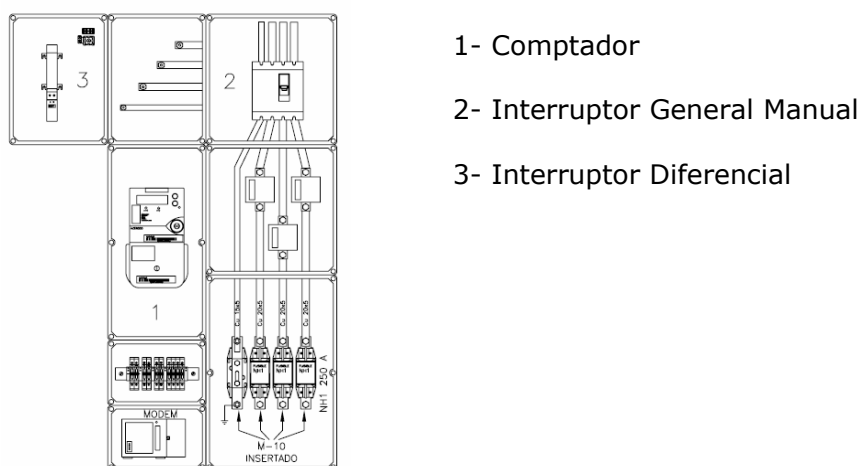


Figura 2. 16: Esquema d'un CPMFV (TMF 10)

2.3.6.- INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA IFV

2.3.6.1.- Interruptor General Manual de la IFV i Protecció Diferencial

L'interruptor General (IGM-IFV) és un dispositiu de seguretat i maniobra que permet separar la Instal·lació fotovoltaica de la xarxa de distribució. Ha de poder accionar-se manualment.

Les característiques dels IGM-IFV són les indicades en la Norma UNE 20317. Tindrà un poder de tall suficient per al corrent de curtcircuit que pugui produir-se en el punt de la seva instal·lació, de 4.500 A com a mínim.

Pot ser bipolar (dos pols protegits) o tetrapolar (tres pols protegits més neutre seccionable). La protecció magnetotèrmica actuarà com a màxim a la potència pic de la instal·lació i en cap cas per damunt del 130% de la potència nominal de la instal·lació.

A fi de protegir les persones en cas de derivació d'algun element de la instal·lació, es disposarà d'un interruptor diferencial (en aquest cas, un vigilant d'aïllament).

2.3.6.2.- Quadre de Comandament i Protecció

Les proteccions descrites es refereixen a les que desconnecten les instal·lacions fotovoltaïques de la xarxa de distribució de Baixa Tensió, així com les proteccions mínimes contra sobretensions.

En cas de defecte intern a la instal·lació fotovoltaica, la protecció l'ha de separar automàticament de la xarxa. Les proteccions han d'evitar que la IFV continuï alimentant un defecte o mantenint en tensió una part de la xarxa en defecte (per a la seguretat de persones i instal·lacions). També han d'evitar el funcionament en illa, i impedir la reconexió de la instal·lació abans de 3 minuts des del restabliment de la tensió, després d'haver estat connectada la instal·lació; han d'evitar la desconexió injustificada de la instal·lació fotovoltaica com a conseqüència de variacions nominals en els paràmetres de funcionament de la xarxa.

Es disposarà almenys dels següents elements, integrats a l'inversor:

- Protecció de màxima i mínima tensió
- Protecció de màxima i mínima freqüència
- Protecció anti-illa

Es disposarà també de:

- Aïllament galvànic (integrat en el propi inversor) (mínima rigidesa dielèctrica 2.500 V)
- Dispositius destinats a la protecció contra les sobretensions permanents
- Dispositius destinats a la protecció contra les sobretensions transitòries
- Contactor o Interruptor automàtic per realitzar les funcions de connexió-desconnexió de la xarxa

3. CÀLCULS DE LA INSTAL·LACIÓ

El dimensionament del sistema fotovoltaic pot fer-se prescindint totalment de les necessitats energètiques dels receptors, ja que aquests obtenen, generalment, l'energia elèctrica que precisen integrant de la xarxa elèctrica, mitjançant una línia de subministrament independent del sistema fotovoltaic.

En aquest cas, el paràmetre fonamental de disseny és la superfície de captació, que està limitada a la coberta. A partir de la superfície de captació i el tipus de mòdul escollit, es dimensiona la instal·lació per tal d'aconseguir una potència màxima determinada que serà injectada a la xarxa. Aquesta potència dependrà en major part, de la disposició (orientació i inclinació) dels mòduls en la coberta, que s'ha de realitzar de manera òptima per aconseguir captar el màxim de radiació, i per tant, produir més energia que es vendrà a la companyia elèctrica.

El dimensionat d'aquesta instal·lació connectada a la xarxa parteix de quin és el valor de la potència elèctrica nominal que aconsegueix la instal·lació, per entregar a la xarxa i rebre una contraprestació econòmica per això. Normalment s'entén per potència de la instal·lació fotovoltaica o potència nominal la suma de la potència dels inversors en condicions nominals de funcionament. Així, el dimensionament dels inversors s'ha de realitzar d'acord amb la potència nominal especificada. Els inversors per instal·lacions connectades a la xarxa no estan sotmesos als pics de potència que es poden presentar en instal·lacions autònomes, ja que alimenten a una xarxa elèctrica i no a un tipus concret de receptor.

Pel dimensionament del *subsistema de captació* d'energia o camp solar, el número de mòduls necessaris N_{mod} , es calcularà a partir de la superfície disponible, (en aquest cas la coberta de la nau), i proporcionaran una potència pic, P_{mod} . Els mòduls es connecten en sèrie i paral·lel per aconseguir la potència d'entrada que s'ha de subministrar a l'inversor perquè pugui entregar la potència nominal a la xarxa, P_{inv} .

Per això s'ha de tenir en compte el rendiment dels inversors, η_{inv} , i el rendiment dels *subsistemes de transport* de l'energia des dels mòduls fins l'inversor, $\eta_{línia}$ [en els conductors es produeixen unes pèrdues de potència per efecte Joule iguals a $R \cdot I^2$ (W/conductor), essent R la resistència del conductor i I la intensitat que circula a través].

També s'han de tenir en compte les pèrdues, degudes a varis factors (veure apartat 3.6 "Rendiment energètic de la instal·lació. Pèrdues")

3.1.- RADIACIÓ SOLAR DE L'EMPLAÇAMENT

L'estació meteorològica més propera a la nau agroindustrial, és la situada en el municipi de Lleida-Raimat. En la Taula 3.1 es mostren les coordenades UTM d'aquesta estació, en la qual es recullen dades de radiació solar global mitjana diària per cada mes i per unitat de superfície.

Municipi	Xarxa	X UTM	Y UTM	Altitud (m)	Latitud (°)
Lleida-Raimat	XMET	288750	4617950	290	41,62 N

Taula 3. 1: Situació de l'estació meteorològica de Raimat

A la Taula 3.2 es mostren les dades de radiació solar per unitat de superfície i de temps recollides en l'estació de Lleida-Raimat (facilitades pel *Servei Meteorològic de Catalunya*, en l'*Atlas Solar*), per una superfície amb grau d'inclinació 30° i amb la posició acimutal de 0° (orientació Sud), ja que és la sèrie de valors que conté la major radiació mitjana anual. Els valors venen donats en MJ.m⁻².dia⁻¹, i cal multiplicar per 0,2778 per passar a unitats de kWh.m⁻².dia⁻¹.

MES	MJ.m ⁻² .dia ⁻¹	kWh.m ⁻² .dia ⁻¹	inclinació 30 ° Orientació acimut 0 ° (sud)
		H_s (HSP)	
gener	7,39	2,05	
febrer	11,56	3,21	
març	16,63	4,62	
abril	20,71	5,75	
maig	23,05	6,40	
juny	23,92	6,64	
juliol	23,65	6,57	
agost	22,01	6,11	
setembre	18,63	5,18	
octubre	13,65	3,79	
novembre	8,71	2,42	
desembre			Total
	6,04	1,68	anual
mitja anual	16,35	4,54	1657,8 kWh.m ⁻² . any ⁻¹

Taula 3. 2: Taula de la radiació mensual obtinguda en l'estació meteorològica de Lleida-Raimat per una superfície amb acimut 0° (orientació Sud) i amb 30° d'inclinació (Font: *Atlas de radiació solar, 2000*).

Els valors de radiació disponible també es poden obtenir mitjançant *software*, en el que a partir de les dades de radiació solar incident sobre una superfície plana, les coordenades i l'altitud del lloc, calcula la radiació directa, difusa i total sobre superfícies inclinades.

Comparant els valors donats per la Taula 3.2 i les dades proporcionades pel *software "Solar irradiation data utility"* (<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>), els valors són bastant semblants, però les dades escollides són les proporcionades per l'*Atlas de Radiació Solar*, ja que es poden considerar valors més fiables. A més, aquest *software* proporciona un angle d'inclinació òptim de 35°, i per l'*Atlas Solar*, l'angle que captaria més radiació solar anual es de 30°.

A la Figura 3.1 es representen gràficament els valors de la Taula 3.2, juntament amb els valors de diferents inclinacions de captació. Es pot observar que inclinacions diferents poden donar valors propers als de la inclinació òptima (30°); inclús durant els mesos de primavera i estiu les inclinacions de 10° i 25° donen valors més elevats. Per a l'elecció de la inclinació òptima, es té en compte el valor mig anual.

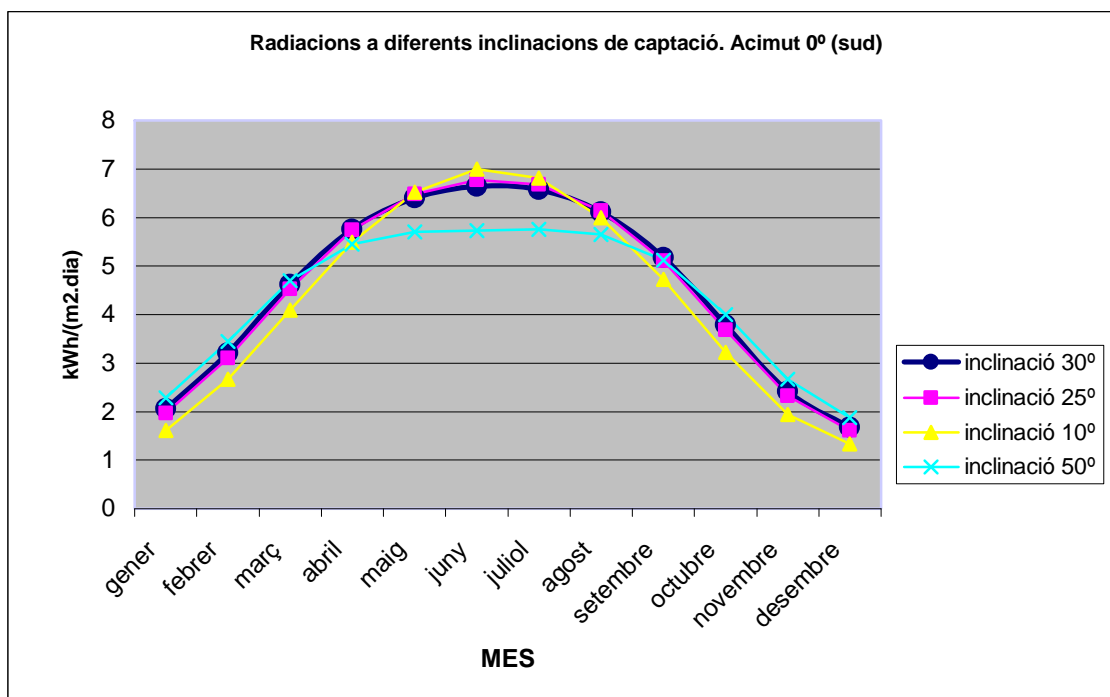


Figura 3. 1: Corbes de la radiació solar mitjana diària captada per una superfície fixa amb inclinació òptima i altres inclinacions, segons les dades recollides en l'estació meteorològica de Lleida-Raimat

3.2.- SUBSISTEMA DE CAPTACIÓ

3.2.1.- INCLINACIÓ I ORIENTACIÓ ÒPTIMA DELS CAPTADORS

L'orientació i la inclinació dels mòduls és fonamental pel disseny de la instal·lació fotovoltaica, ja que determina la captació de radiació solar del subsistema de captació.

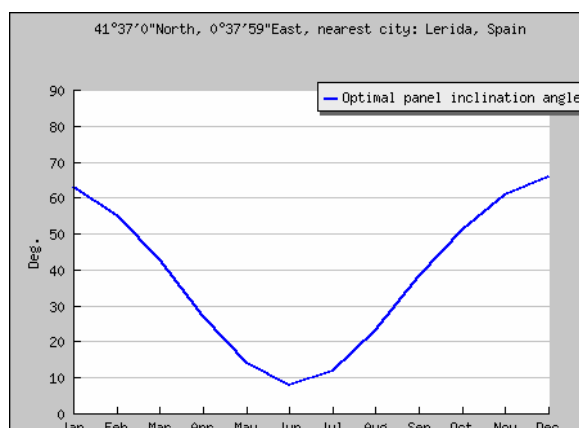


Figura 3. 2: Variació de l'angle d'inclinació òptim al llarg de l'any per Lleida

El gràfic de la Figura 3.2, mostra com varia l'angle d'inclinació òptim segons el mes de l'any, per la localitat de Lleida. Això és deu a que la trajectòria del Sol varia al llarg de l'any, sent més alt el recorregut a l'estiu i més baix a l'hivern, la qual cosa fa que l'angle d'inclinació variï per aconseguir que arribi més radiació perpendicular al mòdul (veure apartat 1.1.2 "Coordenades horitzontals" i *altura solar* (h_s), en la Figura 1.6)

Com que els mòduls en aquesta instal·lació són fixos, es pren la inclinació òptima mitjana anual, que és la inclinació que proporciona una captació de radiació mitjana anual més gran i que en aquest cas és 30° (veure apartat 1.3 Radiació solar de l'emplaçament).

En quant a l'orientació òptima, segons l'apartat 1.2 "Captació fixa", es pren un acimut de 0° , és a dir, una orientació cap el sud.

La Figura 3.2 mostra l'optimització de la inclinació i l'orientació per a l'emplaçament del projecte on se situa la nau.

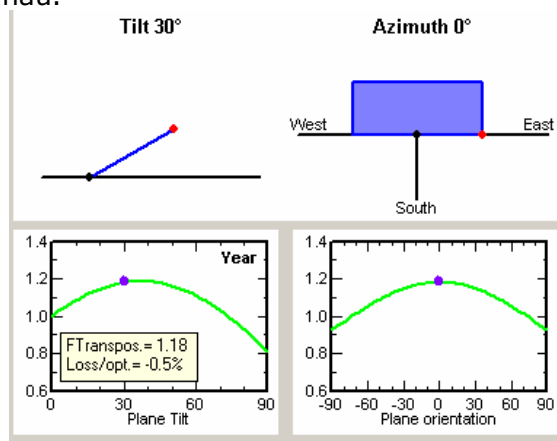


Figura 3. 3: Optimització de la inclinació (*tilt*) i orientació (*azimuth*) per la superfície de captació (font: PVsyst)

Segons l'apartat 3.1. ("Radiació solar de l'emplaçament"), en la Taula 3.2, les dades mitjanes i globals de la radiació solar captada, per una orientació 0° i una inclinació de 30° són:

1657,8	$\text{kWh.m}^{-2} . \text{any}^{-1}$
4,54	$\text{kWh.m}^{-2} . \text{dia}^{-1}$

Taula 3. 3: Dades globals de radiació (en l'emplaçament de la nau)

3.2.2.- MÒDUL FOTOVOLTAIC ESCOLLIT I LES SEVES DADES. RENDIMENT

El mòdul escollit és el model *HEE215MA65-235* (silici monocristal·lí), del fabricant *Helios Energy Europe (HELIENE)*, i té les següents característiques:

P_{mod}	235	Wp	• Potència màxima o pic		
	(+/-) 3	%	• Tolerància sobre P_{mod}		
Dimensions	1680	mm	• S_{mod} superfície del mòdul	1,6766 m ²	
	990	mm			
Cèl.lula	156	mm			
	156	mm			
Nombre cèl.lules	60		• S_{mod} útil superfície útil del mòdul	1,4601 m ²	
V_{mod}	24	V	• Tensió nominal		
$V_{P,mod}$ (V_{mpp})	29,75	V	• Tensió en el punt de P_{mod}		
$I_{P,mod}$ (I_{mpp})	7,9	A	• Corrent en el punt de P_{mod}		
$I_{SC,mod}$	8,69	A	• Corrent en curtcircuit		
$V_{OC,mod}$	36,7	V	• Voltatge en circuit obert		
coeficients temperatura		5.2	mA/°C	V_{OC}	
		-133	mV/°C	I_{SC}	

**Taula 3. 4: Paràmetres físics i elèctrics (en condicions de mesura estàndard) del mòdul
*HEE215MA65-235***

A partir de la superfície útil d'un mòdul fotovoltaic, $S_{mod \text{ útil}}$, expressada en m², i la seva potència pic, es pot calcular el rendiment d'un mòdul:

$$\eta_{mod} = \frac{P_{mod}}{Wp} \cdot \frac{1000}{[(1000 \text{ W/m}^2) \cdot S_{mod \text{ útil}}]}$$

$\eta_{mod} = P_{mod} / (1000 \cdot S_{mod \text{ útil}})$		0,160 (16%)	
Dimensions cèl·lula	156 mm 156 mm	Àrea cèl·lula cèl·lules	x n°
n° cèl·lules	60	1,46 m ² superfície útil ($S_{mod \text{ útil}}$)	

Aquest rendiment s'aproxima bastant al que proporciona el software *PVSyst*, que proporciona un valor de 16,48 %

3.2.3.- OMBRES I CàLCUL DE LA DISTÀNCIA ENTRE MÒDULS

Les pèrdues de radiació solar que experimenta una superfície deguda a ombres projectades per obstacles circumdants varien al llarg d'un dia, depenent de la latitud del lloc, la data i l'hora. Les qüestions de ombrejat afecten a les aplicacions de l'energia solar en diferents àmbits:

- ombrejat entre captadors d'una instal·lació
- ombrejat de captadors i edificis per altres obstacles
- reducció de càrregues per la intercepció de la radiació en elements exteriors a un edifici

En aquest cas existeixen edificis al voltant que afecten amb ombra als mòduls (Figura 3.9), i també cal calcular la distància entre els mòduls per tal que no es facin ombra entre ells.

La relació bàsica entre la longitud de la ombra, L_{ombra} , l'alçada de l'obstacle, H_{obs} , i l'altura solar, h_s , és:

$$\operatorname{tg} h_s = H_{obs} / L_{ombra}$$

La separació entre línies de col·lectors s'estableix de manera que, al migdia solar del dia més desfavorable (altura solar mínima), l'ombra de l'aresta superior d'una fila es projecti, com a màxim, sobre l'aresta inferior de la següent.

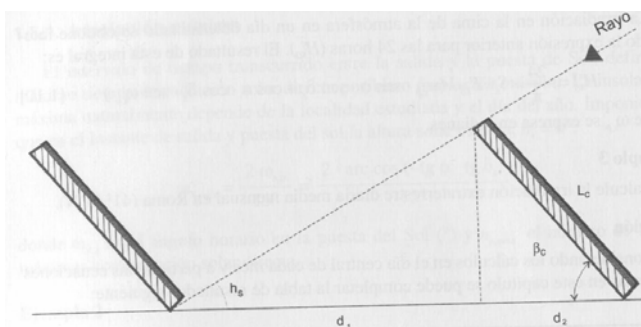


Figura 3. 4: Ombrejat entre mòduls. Dimensions pel càlcul de separació entre files de mòduls.

Atenent a la figura, la distància mínima entre fileres de col·lectors és:

$$L = d_1 + d_2 = L_c [\sin \beta_c / \operatorname{tg} h_s + \cos \beta_c]$$

On L_c és l'alçada del col·lector o mòdul (m), β_c la inclinació del mòdul respecte la superfície on està col·locat, i L la longitud de l'ombra (m).

Habitualment en el dia més desfavorable del període d'utilització, la instal·lació no ha de tenir més del 5 % de la superfície útil de captadors coberta per ombres.

La trajectòria solar que mostra la Figura 3.5, ens indica que el valor de l'alçada mínima al migdia de tot l'any és de 25° (solstici d'hivern).

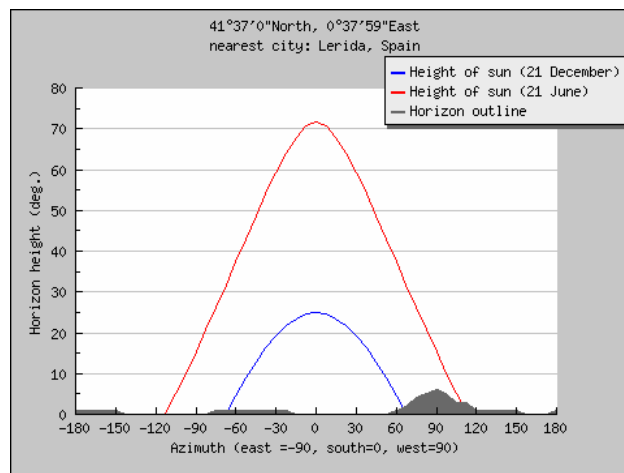


Figura 3. 5: Recorregut del Sol en els solsticis d'hivern i estiu

β_c , l'angle entre la coberta i el mòdul varia en cada ala de la nau, ja que cada vertent està inclinada 6° , i els mòduls estan disposats amb orientació sud, com mostra la figura 3.6:

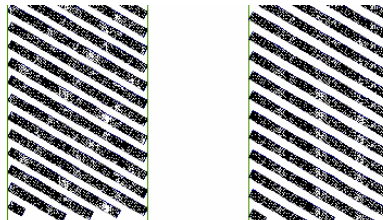


Figura 3. 6: Disposició dels mòduls en cada ala (camp) de la coberta

Es pren un valor de $\pm 4^\circ$ per aproximar β_c :

$$\text{Ala 1: } 30^\circ - 4^\circ = 26^\circ$$

$$\text{Ala 2: } 30^\circ + 4^\circ = 34^\circ$$

Aplicant la fórmula abans esmentada, obtenim els següents càlculs:

$L = d_1 + d_2 = L_c [\sin \beta_c / \tan h_s + \cos \beta_c]$	1,82 m	ala 1
h_s	25	° altura solar mínima
β_c	26	° Inclinació
L_c	0,99	m alçada mòdul
$d_2 (= \cos \beta_c \cdot L_c)$	0,88	m projecció vertical mòdul

$$L = d_1 + d_2 = L_c [\sin \beta_c / \operatorname{tg} h_s + \cos \beta_c] \quad 2,00 \text{ m} \quad \text{ala 2}$$

h_s	25	o	altura solar mínima
β_c	34	o	Inclinació
L_c	0,99	m	alçada mòdul
$d_2 (= \cos \beta_c \cdot L_c)$	0,82	m	projecció vertical mòdul

Aquests càlculs proporcionen una aproximació adient per a la separació dels mòduls en la coberta, però cal fer una simulació de les ombres amb el software *PVSyst*, per tal de calcular les pèrdues per ombres.

3.2.4.- PÈRDUES PER OMBRES

El càlcul de pèrdues per ombres es realitza amb el simulador d'ombres del software *PVSyst*, ja que són càlculs complicats que es computen amb una màquina. Els resultats de pèrdues per ombres que proporciona el software (Figura 3.7) són:

- ombrejat de l'horitzó, objectes propers
- ombrejat entre fileres de mòduls
- *factor IAM (incident angle modifier)*, correspon a la disminució de la radiació que realment arriba al mòdul, respecte la irradiació sota condicions normals. Està relacionat amb la transmissió i reflexió en la capa de protecció del mòdul (vidre).

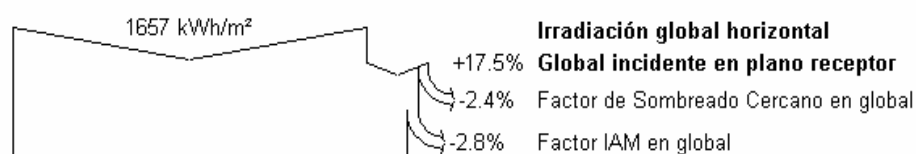


Figura 3. 7: Pèrdues degudes a ombres en el camp 1

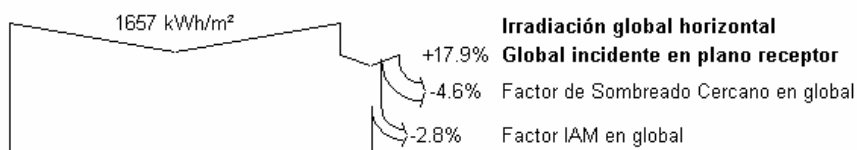


Figura 3. 8: Pèrdues degudes a ombres en el camp 2

Segons els càlculs de l'apartat 3.6 ("Rendiment energètic de la instal·lació. Pèrdues"), en pèrdues degudes a efectes d'ombrejat, el rang de valors pot situar-se entre l'1 % (valor mínim per defecte) i el 10 % que és el valor màxim a partir del qual les ombres poden repercutir negativament en el correcte funcionament de la instal·lació (Factor A4). En aquest cas s'aconsegueix un valor per sota de 5%, que es pot considerar un valor acceptable.

Per obtenir aquest valor de pèrdues per ombres de 4,6 % en el camp 2 (el més desfavorable en quant a ombrejats), s'han separat més les fileres de mòduls entre elles, prenent uns valors lleugerament diferents als calculats en l'apartat anterior, essent les distàncies de separació entre fileres:

- 1,9 m per l'ala 1 (camp 1)
- 2,1 m per l'ala 2 (camp 2)

La simulació en *PVSyst*, té en compte les ombres entre les fileres de mòduls i també té en compte les ombres que puguin ser projectades per objectes propers, com edificis. La figura 3. 9 mostra la situació de la nau i els edificis circumdants:

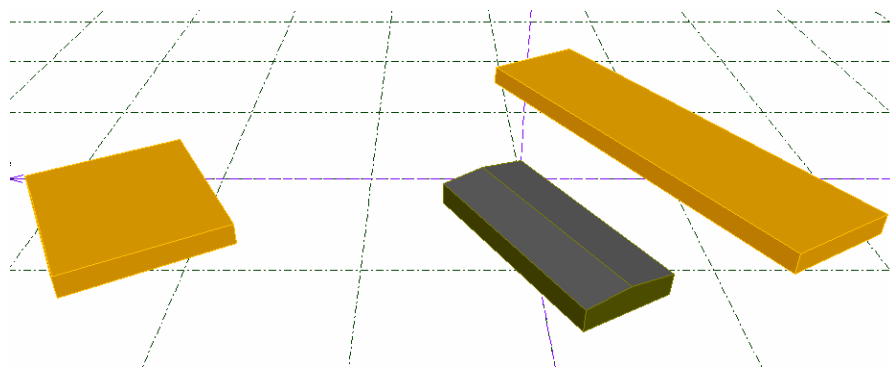


Figura 3. 9: Nau del projecte i edificis propers

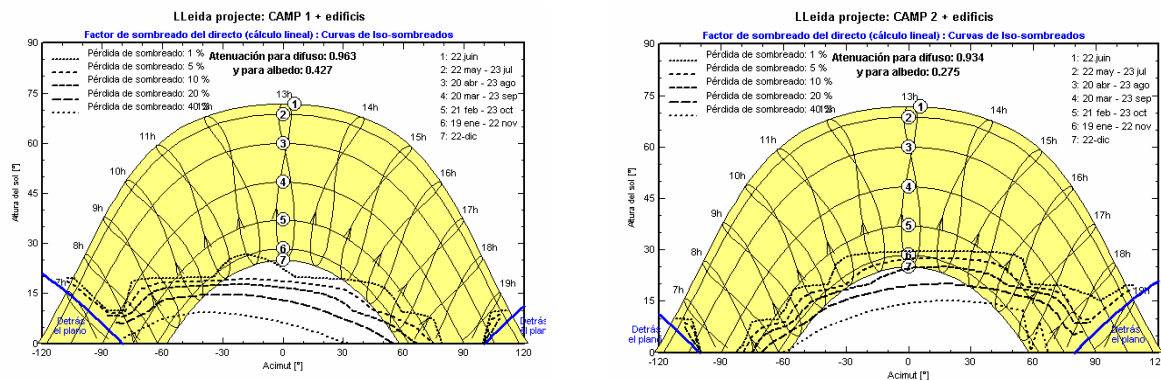


Figura 3. 10: Diagrama de Iso-ombrejats del camps 1 i 2 (ombregat lineal) (*PVSyst*)

La figura 3.10 mostra les línies de pèrdues per ombrejat al llarg del dia, segons les diferents èpoques de l'any. Com és d'esperar, a l'hivern les pèrdues per ombrejat són majors, ja que l'altura solar és menor i es projecten més ombres entre les files de mòduls.

El camp 2 presenta més pèrdues per ombres, ja que hi ha un edifici proper que afecta als mòduls d'aquest camp. El camp 1 es veu menys afectat per l'edifici que té al seu costat, que està més allunyat.

3.2.5.- DETERMINACIÓ DEL NOMBRE DE MÒDULS

Considerant la orientació de 0° acimut i una inclinació dels mòduls de 30°, en situar fileres del model escollit sobre la coberta de la nau, queden disposats tal com mostra la Figura 3.6.

El nombre de mòduls per cada camp de la nau, es calcula disposant fileres de mòduls sobre la coberta a la distància definida en l'apartat anterior (veure Plànol 2).

El resultat és de 690 mòduls fotovoltaics en total, distribuïts en les dues ales de la nau:

Ala - camp 1: 360 mòduls (separació entre fileres: 1,9 m)

Ala - camp 2: 330 mòduls (separació entre fileres: 2,1 m)

3.2.7.- CONNEXIÓ DELS MÒDULS

S'ha de tenir en compte la normativa de la companyia distribuïdora on s'injectarà l'energia de la instal·lació fotovoltaica. Aquesta normativa de *FECSA-ENDESA* és la "Norma Tècnica Particular. Instal·lacions Fotovoltaiques Interconnectades a la Xarxa de Distribució de Baixa Tensió" (NTP-FVBT), i és aplicable per instal·lacions fotovoltaïques que no superin els 100 kVA.

Com a conseqüència, la instal·lació fotovoltaica del projecte, en superar els 100 kW, es dividirà en dos camps fotovoltaïcs: ala 1 (360 mòduls) i ala 2 (330 mòduls), i cadascú tindrà el seu inversor.

Per connexionar els mòduls, primerament s'ha de saber quina és la tensió de l'inversor. S'ha d'escollir un inversor que tingui una potència que coincideixi amb la potència pic total del subsistema de captació, P_{gen} (Wp), i que ve donada per:

$$P_{gen} = N_{mod} \cdot P_{mod} = 360 \text{ unitats} \cdot 235 \text{ Wp} = 84,6 \text{ kWp} \quad \text{camp 1}$$

$$P_{gen} = N_{mod} \cdot P_{mod} = 330 \text{ unitats} \cdot 235 \text{ Wp} = 77,55 \text{ kWp} \quad \text{camp 2}$$

Els inversors escollits són diferents, ja que les potències dels dos camps són també diferents; El model *SUNWAY TG 100 - 800V*, pel camp 1, té una tensió nominal d'entrada, V_{inv} , igual a 650 V. La seva potència nominal d'entrada és de 80 kW, valor lleugerament inferior a P_{gen} .

El model *SUNWAY TG 90 - 600V*, pel camp 2, té una tensió nominal d'entrada, V_{inv} , igual a 490 V. La seva potència nominal de sortida és de 72 kW, valor lleugerament inferior a P_{gen} .

Per més informació sobre l'inversor, veure l'apartat 3.3 ("Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric").

Si la tensió nominal de cada mòdul fotovoltaic és V_{mod} , el nombre de mòduls fotovoltaïcs connectats en sèrie, $N_{S,mod}$, perquè la tensió de sortida del camp fotovoltaic sigui igual a la tensió de l'inversor:

$$N_{S,mod} = V_{inv}/V_{mod}$$

El nombre de mòduls connectats en paral·lel, $N_{P,mod}$ és:

$$N_{P,mod} = N_{mod}/N_{S,mod}$$

$N_{P,mod}$ és el nombre de branques o conjunts de $N_{S,mod}$ mòduls connectats en sèrie que s'hauran de connectar en paral·lel.

D'aquesta manera, el nombre total de mòduls fotovoltaïcs, N_{mod} , és igual al producte:

$$N_{mod} = N_{S,mod} \cdot N_{P,mod}$$

El nombre final total de mòduls, N_{mod} , s'ha d'aproximar al mínim nombre immediatament superior que la compleixi, modificant el valor de $N_{P,mod}$ (ja que el valor de $N_{S,mod}$ ve fixat per la tensió de treball de l'inversor i no pot modificar-se).

Els resultats obtinguts, realitzant els càlculs de les equacions anteriors són:

	Camp 1	Camp 2
$N_{S,mod} = V_{inv}/V_{mod}$	20 mòduls en sèrie	22 mòduls en sèrie
$N_{S,mod}$: nombre de panells connectats en sèrie		
V_{inv} : tensió inversor (500-550 V)		
V_{mod} : tensió nominal del mòdul (25 V)		
$N_{P,mod} = N_{mod}/N_{S,mod}$	18 branques en paral·lel	15 branques en paral·lel
N_{mod} : nombre total de mòduls fotovoltaics	360 unitats	330 unitats

Taula 3. 5: Connexió en sèrie i en paral·lel dels mòduls de cada camp fotovoltaic

Els valors de la tensió de l'inversor són xifres que es troben entre els valors de tensió màxima i la tensió mínima de l'inversor, i que permeten col·locar el nombre de mòduls sobre tota la superfície de cada ala de la coberta.

La figura 3.11 mostra la connexió dels mòduls, tal i com s'ha especificat. Per més detall sobre la connexió, veure el Plànols 3 i 4 (Esquemes Unifilars).

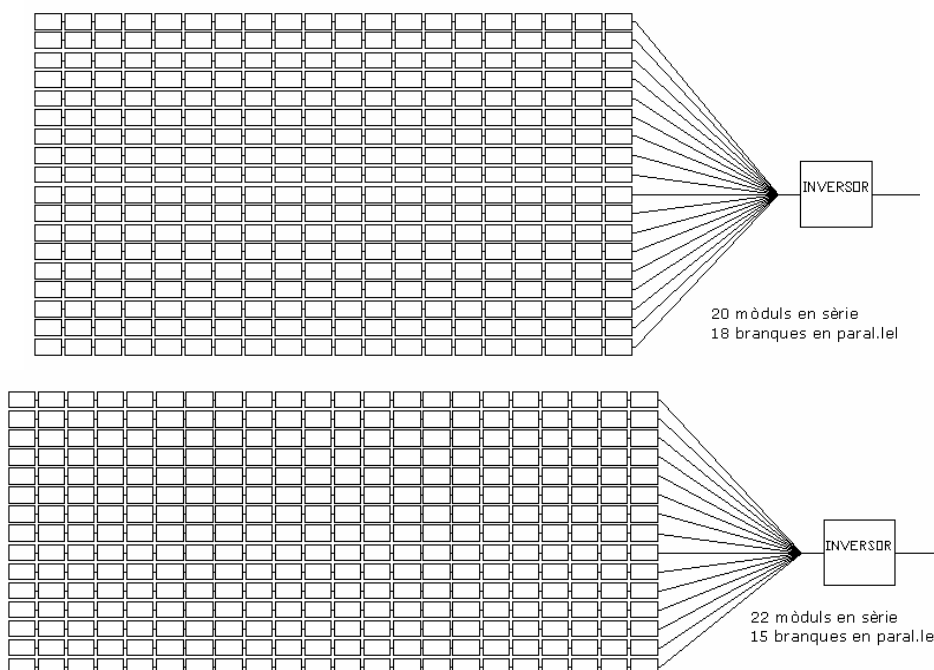


Figura 3. 11: Connexió dels mòduls fotovoltaics en els camps fotovoltaics 1 i 2

3.2.8.- PARÀMETRES ELÈCTRICS DEL SUBSISTEMA DE CAPTACIÓ

Un cop determinats el nombre de mòduls connectats en sèrie, $N_{S,mod}$, el nombre de branques connectades en paral·lel, $N_{P,mod}$, i el nombre de mòduls totals, N_{mod} , es poden calcular els principals paràmetres elèctrics totals del subsistema de captació d'energia o camp fotovoltaic, segons les expressions:

Potència pic total del subsistema de captació (Wp)

$$P_{gen} = N_{mod} \cdot P_{mod}$$

Intensitat pic total de sortida del subsistema de captació (A)

$$I_{P,gen} = I_{P,mod} \cdot N_{P,mod}$$

Intensitat total de curtcircuit del subsistema de captació (A)

$$I_{SC,gen} = I_{SC,mod} \cdot N_{P,mod}$$

Tensió nominal total de sortida del subsistema de captació (V)

$$V_{gen} = V_{mod} \cdot N_{S,mod}$$

Tensió pic total de sortida del subsistema de captació (V) (tensió de màxima potència del generador fotovoltaic)

$$V_{Pgen} = V_{P,mod} \cdot N_{S,mod}$$

Tensió total en circuit obert del subsistema de captació (V)

$$V_{OC,gen} = V_{OC,mod} \cdot N_{S,mod}$$

Aplicant les següents dades del mòdul fotovoltaic:

P_{mod}	potència nominal o pic d'un mòdul	235 Wp
$I_{P,mod}$ (I_{mpp})	intensitat pic d'un mòdul	7,90 A
$I_{SC,mod}$	intensitat de curtcircuit d'un mòdul	8,69 A
V_{mod}	tensió nominal del mòdul	25 V
$V_{P,mod}$ (V_{mpp})	tensió pic del mòdul	29,75 V
$V_{OC,mod}$	tensió en circuit obert	36,70 V

Els resultats obtinguts de les anteriors equacions són els següents:

	Camp 1	Camp 2	
P_{gen}	84.600	77.550	Wp
$I_{P,gen}$	142,2	118,5	A
$I_{SC,gen}$	156,42	130,35	A
V_{gen}	500	550	V
V_{Pgen}	595	654,5	V
$V_{OC,gen}$	734	807,4	V

Taula 3. 6: Paràmetres elèctrics dels subsistemes de captació

3.2.9.- CORRECCIÓ DE TENSIÓ I CORRENT DEGUDES A LA TEMPERATURA

Tal i com s'ha comentat en els apartats 2.2.1.2 i 2.2.1.3 ("Paràmetres de funcionament de les cèl·lules fotovoltaïques" i "Efectes de la irradiància i la temperatura"), els mòduls fotovoltaïcs treballen en condicions reals, i la temperatura afecta als paràmetres elèctrics del sistema (veure Figura 2.3 "Dependència de les corbes I-V del mòdul amb la temperatura").

Sobre la coberta de la nau es considerarà un rang de temperatura ambient entre -5 °C en hivern i 45 °C a l'estiu. Amb aquestes temperatures, la temperatura de les cèl·lules fotovoltaïques serà diferent a 25 °C (CEM), que és el valor de condició estàndard de mesura i pel qual es mostren els paràmetres fonamentals dels mòduls.

La temperatura de treball a la que arriben les cèl·lules dels mòduls es pot aproximar mitjançant l'expressió:

$$T_p = T_a + \frac{(T_{ONC} - 20)}{800} \cdot I$$

On:

T_p és la temperatura a la que arriba la cèl·lula a una temperatura ambient determinada

T_a és la temperatura ambient del lloc on estan instal·lats els mòduls

T_{ONC} és la temperatura nominal de la cèl·lula, definida com la temperatura a la que arriben les cèl·lules quan el mòdul està sotmès a una irradiància de 800 W/m² amb distribució espectral AM 1,5 G, la temperatura ambient és de 20 °C i la velocitat del vent és d' 1 m/s. Aquest valor pren el valor de 47 °C

I és la irradiància mitjana que depèn del període en el que es trobi (estiu: $I=1000$ W/m²; hivern: $I= 100$ W/m²).

Per conèixer la tensió de circuit obert, que es mesura a la sortida de cada mòdul quan estigui treballant sota aquestes condicions de temperatura de cèl·lula diferent a 25 °C, s'aplicarà el coeficient de temperatura per la tensió en circuit obert (V_{OC}), proporcionat pel fabricant.

$$V_{OC(x^{\circ}C)} = V_{OC(25^{\circ}C)} + \Delta T \cdot \Delta V_{OC(T)}$$

On:

$V_{OC(x^{\circ}C)}$ és la tensió en circuit obert del mòdul a una temperatura de cèl·lula x °C

$V_{OC(25^{\circ}C)}$ és la tensió a circuit obert del mòdul en condicions estàndard de mesura (CEM)

ΔT és la variació de temperatura de treball del mòdul en les condicions estàndard de mesura (CEM)

$\Delta V_{OC(T)}$ és el coeficient de temperatura de la tensió de circuit obert del mòdul ($\Delta V_{OC(T)} = -133$ mV/°C)

Al corrent de curtcircuit que es produirà a la sortida de cada mòdul quan està treballant en condicions de temperatura de cèl·lula diferent a 25°C, se li aplica el coeficient de temperatura pel corrent de curtcircuit (I_{SC}) proporcionat pel fabricant, sobre la següent equació:

$$I_{SC(x^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T \cdot \Delta I_{SC(T)}$$

On:

$I_{SC(x^{\circ}C)}$ és el corrent de curtcircuit del mòdul a una temperatura de cèl·lula x °C

$I_{SC(25^{\circ}C)}$ és el corrent de curtcircuit del mòdul en condicions estàndard de mesura (CEM)

$\Delta I_{SC(T)}$ és el coeficient de temperatura del corrent de curtcircuit del mòdul ($\Delta I_{SC(T)} = 5,2$ mA/°C)

Multiplicant el nombre de mòduls en sèrie en un ramal del generador per la tensió de circuit obert de cada mòdul per les diferents temperatures ambientals (hivern i estiu, -5 °C i 45 °C), s'obté la tensió de circuit a la sortida del generador fotovoltaic durant les dues èpoques de l'any. Multiplicant el nombre de ramals en paral·lel del generador fotovoltaic pel corrent de curtcircuit de cada mòdul en les dues temperatures ambientals (-5 °C i 45 °C), s'obté el corrent de curtcircuit a la sortida del generador en hivern i estiu.

$$V_{OC(hivern/estiuTOTAL)} = V_{OC(hivern/estiuMÒDUL)} \cdot N_S$$

$$I_{SC(hivern/estiuTOTAL)} = I_{SC(hivern/estiuMÒDUL)} \cdot N_P$$

Per últim, s'ha de tenir en compte els valors de tensió de màxima potència als que s'arribarà en la instal·lació, ja que també variaran com els valors de tensió de circuit obert i corrent de curtcircuit amb la temperatura.

Per obtenir el coeficient de variació per la tensió de màxima potència respecte a la temperatura s'utilitzarà la igualtat $V_{mmp} = 0,76 \cdot V_{OC}$. La variació també ho complirà, i per tant:

$$\Delta V_{mmp}(T) = 0,76 \cdot (-0,133) = -0,10108 V/\%C$$

Les tensions a les que cadascun dels mòduls solars arribaran en el punt de màxima potència quan es trobin a temperatures de 45 °C i de -5 °C, seran:

$$V_{mmp(78,75^{\circ}C)} = V_{mmp(25^{\circ}C)} + \Delta T \cdot \Delta V_{mmp}(T)$$

$$V_{mmp(-1,625^{\circ}C)} = V_{mmp(25^{\circ}C)} + \Delta T \cdot \Delta V_{mmp}(T)$$

El rang de tensions del punt de màxima potència haurà de ser suportat per l'inversor i serà calculat multiplicant els valors de tensió de màxima potència de cada mòdul solar, pel nombre de mòduls connectats en sèrie de cada ramal. Així obtenim la tensió màxima i mínima que proporcionarà el generador fotovoltaic en condicions de màxima potència.

$$V_{mmp(78,75^{\circ}C)TOTAL} = V_{mmp(78,75^{\circ}C)} \cdot N_S$$

$$V_{mmp(-1,625^{\circ}C)TOTAL} = V_{mmp(-1,625^{\circ}C)} \cdot N_S$$

La taula 3.7 mostra els valors dels diferents paràmetres esmentats, en tenir en compte l'efecte de la temperatura.

ESTIU			HIVERN		
T_a	45	°C	T_a	-5	°C
I	1000	W/m ²	I	100	W/m ²
T_p	78,75	°C	T_p	-1,625	°C
ΔT	53,75	°C	ΔT	-26,625	°C
$V_{OC(25^\circ C)}$	36,7	V	$V_{OC(25^\circ C)}$	36,7	V
$\Delta V_{OC(T)}$	-133	mV/°C	$\Delta V_{OC(T)}$	-133	mV/°C
$V_{OC(x^\circ C)}$	29,55	V	$V_{OC(x^\circ C)}$	40,24	V
$I_{SC(25^\circ C)}$	8,69	A	$I_{SC(25^\circ C)}$	8,69	A
$\Delta I_{SC(T)}$	5,2	mA/°C	$\Delta I_{SC(T)}$	5,2	mA/°C
$I_{SC(x^\circ C)}$	8,96	A	$I_{SC(x^\circ C)}$	8,55	A
$V_{OC(estiuTOTAL)} = V_{OC(estiuMÒDUL)} \cdot N_s$ $I_{SC(estiuTOTAL)} = I_{SC(estiuMÒDUL)} \cdot N_p$			$V_{OC(hivernTOTAL)} = V_{OC(hivernMÒDUL)} \cdot N_s$ $I_{SC(hivernTOTAL)} = I_{SC(hivernMÒDUL)} \cdot N_p$		
$V_{OC(78,75^\circ C)}$	591,02 (camp 1)	V	$V_{OC(-1,625^\circ C)}$	804,82 (camp 1)	V
	650,12 (camp 2)	V		885,30 (camp 2)	V
$I_{SC(78,75^\circ C)}$	161,45 (camp 1)	A	$I_{SC(-1,625^\circ C)}$	153,92 (camp 1)	A
	134,54 (camp 2)	A		128,27 (camp 2)	A
$\Delta V_{mmp(T)}$	-010108 V/°C		$\Delta V_{mmp(T)}$	-010108 V/°C	
$V_{mmp(78,75^\circ C)} = V_{mmp(25^\circ C)} + \Delta T \cdot \Delta V_{mmp(T)}$			$V_{mmp(-1,625^\circ C)} = V_{mmp(25^\circ C)} + \Delta T \cdot \Delta V_{mmp(T)}$		
$V_{mmp(78,75^\circ C)}$	24,32	V	$V_{mmp(-1,625^\circ C)}$	32,44	V
$V_{mmp(78,75^\circ C)TOTAL} = V_{mmp(78,75^\circ C)} \cdot N_s$			$V_{mmp(-1,625^\circ C)TOTAL} = V_{mmp(-1,625^\circ C)} \cdot N_s$		
486,34 V (camp 1)			648,83 V (camp 1)		
534,97 V (camp 2)			713,71 V (camp 2)		

Taula 3. 7: Taula de valors dels paràmetres elèctrics en tenir en compte l'efecte de la temperatura en estiu i en hivern

Com es pot comprovar, les tensions mínima i màxima que varien per l'efecte de la temperatura, són suportades per cadascun dels inversors (veure les característiques de cada inversor, en l'apartat 3.3, "Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric").

3.2.10.- CÀLCUL DE LES CÀRREGUES DEL CAMP FOTOVOLTAIC SOBRE LA COBERTA DE LA NAU I ACCIONS SOBRE ELS MÒDULS

Tal i com especifica el *Pliego de Condiciones Técnicas* de l'IDAE, l'estructura de suport dels mòduls ha de resistir les sobrecàrregues de vent i neu.

La força del vent depèn de l'alçada sobre el terra, de manera que a més alçada més pressió de vent haurà; si es té en compte la sobrecàrrega produïda pel vent en la zona, l'estructura de mòduls i suports haurà de suportar vents de 130 Km/h com a màxim, que correspon a 80 Kg/m^2 , o 785 N/m^2 .

L'estructura de suport té una posició que orienta els mòduls cap el sud, per tant, els vents que major càrrega tindran sobre els ancoratges seran els vents del nord, generant una força sobre l'estructura com s'indica en la Figura 3.12

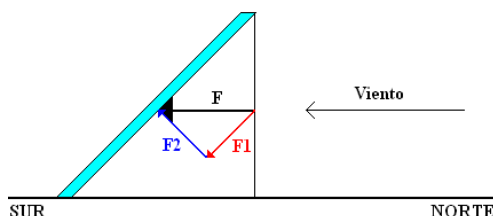


Figura 3. 12: Acció de la força del vent sobre el mòdul

El vent es trobarà amb una superfície obstacle d'alçada definida per les dimensions del mòdul i la inclinació que té. Quanta més inclinació, més càrrega exercirà el vent sobre el mòdul. En aquest cas, suposem una inclinació de 34° , que és la inclinació en referència a la coberta dels mòduls en l'ala 2 de la nau.

Per una inclinació de 34° , la superfície obstacle que es troba el vent ve donada per:

$$S_{OBSTACLE} = S_{mod} \cdot \sin \beta = 1,66 \text{ m}^2 \cdot \sin 34^\circ = 0,92 \text{ m}^2$$

La força que el vent exerceix sobre la superfície obstacle, en forma de pressió que correspon a la força del vent, és de 785 N/m^2 , sobre una superfície perpendicular; per tant:

$$S_{OBSTACLE} \cdot 785 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 722,2 \text{ N} = 0,722 \text{ KN}$$

Aquesta força és descomposta en dos vectors, ja que els mòduls no són perpendiculars a la direcció del vent. El valor F_2 (Figura 3.12) es determina segons l'angle d'inclinació del mòdul:

$$F_2 = 722,2 \text{ N} \cdot \sin 34^\circ = 403,8 \text{ N}$$

Per tant, els ancoratges que uneixen l'estructura del suport amb la coberta de la nau han de suportar aquesta força.

Segons el CTE la càrrega de neu es considera una càrrega vertical i es calcula mitjançant la fórmula següent:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

On:

q_n : càrrega de neu per superfície horitzontal

s_k : valor característic de sobrecàrrega de neu (depèn de l'altitud i de la zona climàtica) (Taula 3.8, pàg 11 SE-AE). Per Lleida, correspon un valor de 0,5 kN/m².

μ : coeficient de forma de la coberta. Per cobertes lleugeres d'inclinació $\leq 30^\circ$, μ és igual a 1

$$q_n = \mu \cdot s_k = 0,5 \text{ KN/m}^2$$

Els mòduls fotovoltaics han de suportar aquesta sobrecàrrega de en el cas que es produeixi una nevada. Els mòduls fotovoltaics estan protegits per una làmina de vidre resistent i estan enquadrats en un suport rígid, per la qual cosa suportaran aquesta sobrecàrrega sense problemes. Aquesta sobrecàrrega es transmetrà a la coberta, que ja està dimensionada per suportar sobrecàrregues de neu quan no existia encara la instal·lació fotovoltaica. Com que l'estructura de suport dels mòduls suposa un impediment on s'acumularia la neu, el CTE suposa un μ de 1. Per tant, la coberta també suportaria una q_n de 0,5 kN/m².

El pes unitari d'un mòdul és de 24 kg, que multiplicat pel nombre de mòduls (690 unitats) resulta un valor de 16.560 Kg, que estaran distribuïts sobre la coberta. Aquesta coberta té una superfície de 2.088 m², per tant, el pes per superfície que exerceixen els mòduls és de 7,9 Kg/m². Si considerem el pes del cablejat de 1 kg de cable per mòdul, el pes per superfície és 8,9 Kg/m², que correspon a 0,09 kN/m². El pes dels suports és de 1,3 kg/mòdul, que equival a 897 Kg en total sobre coberta, o 0,43 Kg/m² (0,0042 kN/m²).

La Taula 3.8 mostra el resum de valors que actuen sobre la coberta i els mòduls.

- | | |
|--|---------------------------|
| • Força que ha de suportar els ancoratges del suport i l'estructura de suport per acció del vent | • 0,40 kN/mòdul |
| • Sobrecàrrega de neu (sobre els mòduls i sobre la coberta) | • 0,5 kN/m ² |
| • Càrrega permanent de mòduls i cablejat sobre coberta | • 0,09 kN/m ² |
| • Càrrega permanent dels suports sobre coberta | • 0,004 kN/m ² |
| • Suma de càrregues permanents i càrrega variable (neu) | • 0,59 kN/m ² |

Taula 3. 8: Taula de valors de les càrregues i sobrecàrregues sobre els mòduls i la coberta

Per tant, la coberta haurà de suportar una nova càrrega permanent de 0,094 kN/m² ó 9,6 kg/m² (pes dels mòduls, cablejat i estructura de suport) deguda a la instal·lació fotovoltaica a sobre seu.

3.3.- SUBSISTEMA D'ADAPTACIÓ DEL SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC

La tensió de sortida del subsistema de captació s'ha d'ajustar a la tensió d'entrada nominal de l'inversor. S'ha optat per col·locar un inversor diferent per cada camp fotovoltaic, ja que són dos superfícies de captació diferents encara que amb una orientació i inclinació dels mòduls igual. Els paràmetres elèctrics del subsistema de captació (apartat 3.2.8) són similars, però la potència de cada camp és diferent.

Seria possible connectar un camp d'igual orientació en un mateix inversor, sempre que tots els mòduls de cada fila mantinguessin la mateixa orientació. En aquest cas, el corrent de les diferents branques serà diferent d'acord amb la orientació del Sol, però es mesclaria al mateix voltatge. Això resultaria en pèrdues de connexionat (*mismatch*) negligibles. Dit d'una altra manera, quan els voltatges dels camps són comparables, les pèrdues d'energia són petites, inclús per diferents intensitats. En aquest cas les intensitats de cada cap simplement se sumarien.

Si els dos camps es connecten a un únic inversor, la potència de sortida trifàsica superaria els 100 kW, per la qual cosa no es podria fer una connexió a baixa tensió a la xarxa elèctrica.

Posar mòduls en sèrie en diferents orientacions proporciona un comportament complex, de les característiques I/V , similar als efectes d'ombrejat parcial. Això pot resultar en altes pèrdues i fins i tot en risc de punt calent.

Quan els camps s'esperen treballar sota diferents voltatges (camps heterogenis, però amb efectes d'ombrejat parcial), és molt important connectar díodes de bloqueig en cada fila.

A partir de vàries simulacions amb diferents inversors mitjançant *PVSyst*, s'han escollit dos inversors del fabricant *Santerno*, el model *SUNWAY TG 100-800V* pel camp 1 i *SUNWAY TG 90-600V* pel camp 2. Com que tots els models de connexió a xarxa són d'ona senoidal pura, tenen un voltatge i una potència nominal de sortida igual i les eficiències màximes són similars, s'han escollit uns models amb criteri econòmic.

S'opta per instal·lar dos inversors de potència nominal d'entrada (CC) 80 i 72 kW, uns valors lleugerament inferior a P_{gen} , calculada anteriorment en l'apartat 3.2.8, (Taula 3.6) ja que pel càlcul de P_{gen} no s'han tingut en compte les pèrdues degudes a diversos factors (veure apartat 3.7 "Rendiment energètic de la instal·lació. Pèrdues") i tindrà un valor menor. Les dades elèctriques d'aquests dos inversors es presenten en la taula següent:

Modelo	SUNWAY TG 100 - 800V	Fabricante	Santerno
Nombre archivo	Santerno_Sunway800V_TG_100.ON	Origen de datos	Manufacturer 2007
Lado entrada (Campo FV CC)			
Tensión MPP Mínima	430 V		
Tensión Mínima para Pnom	430 V		
Tensión MPP Nominal	650.0 V		
Tensión MPP Máxima	760 V		
Tensión FV máx Absoluta	880 V		
Umbral Potencia	1000.0 W		
Especificación contractual, sin significado físico verdadero. <input type="checkbox"/> Obligatorio			
Potencia nominal FV	80 kW		
Potencia máxima FV	94 kW		
Corriente FV máxima	N/A A		
Lado salida (Red CA)			
Tipo		Frecuencia	
<input type="radio"/> Monofásico <input checked="" type="radio"/> Trifásico <input type="radio"/> Bifásico		<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz <input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz	
Tensión de Red	400 V		
Potencia nominal CA	76 kW		
Potencia máxima CA	84 kW		
Corriente CA nominal	110 A		<input checked="" type="checkbox"/>
Corriente CA máxima	N/A A		<input type="checkbox"/>
Eficiencia			
Eficiencia máxima		96.1 %	
Eficiencia EURO		94.7 % <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Eficiencia definida para 3 tensiones			

Taula 3. 9: Característiques elèctriques de l'inversor *SUNWAY TG 100-800V* (*PVSyst*)

Modelo	SUNWAY TG 90 - 600V	Fabricante	Santero
Nombre archi	Santero_Sunway600V_TG_90.OND	Origen de datos	Manufacturer 2007
Lado entrada (Campo FV CC)			
Tensión MPP Mínima	315 V		
Tensión Mínima para Phom	N/A V		
Tensión MPP Nominal	490.0 V		
Tensión MPP Máxima	630 V		
Tensión FV máx Absoluta	740 V		
Umbral Potencia	700.0 W		
Especificación contractual, sin significado físico verdadero.		? Obligatorio	
Potencia nominal FV	72 kW		
Potencia máxima FV	85 kW		
Corriente FV máxima	N/A A		
Lado salida (Red CA)			
Tipo		Frecuencia	
<input type="radio"/> Monofásico <input checked="" type="radio"/> Trifásico <input type="radio"/> Bifásico		<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz <input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz	
Tensión de Red	400 V		
Potencia nominal CA	68 kW		
Potencia máxima CA	75 kW		
Corriente CA nominal	99 A		<input checked="" type="checkbox"/>
Corriente CA máxima	N/A A		<input type="checkbox"/>
Eficiencia			
Eficiencia máxima		95.9 %	
Eficiencia EURO		94.6 % ?	
<input type="checkbox"/> Eficiencia definida para 3 tensiones			

Taula 3. 10: Característiques elèctriques de l'inversor *SUNWAY TG 90-600V (PVSyst)*

Cal comprovar que els paràmetres calculats en l'apartat anterior (3.2.9 "Correcció de tensió i corrent degudes a la temperatura") estan dintre del rang de valors que proporciona el fabricant de l'inversor. En aquest cas tots els valors de voltatges i intensitats de la instal·lació tenint en compte els efectes de la temperatura es troben dins dels rangs de valors de l'inversor.

La figura 3.13 mostra com varia l'eficiència dels inversors amb la potència d'entrada. Quan la potència d'entrada és petita (<20 kW), l'eficiència disminueix. Dintre d'un interval de potències (25 – 80/70 kW), el paràmetre d'eficiència es manté gairebé constant, i és l'interval de valors dintre del qual treballaran els inversors amb normalitat.

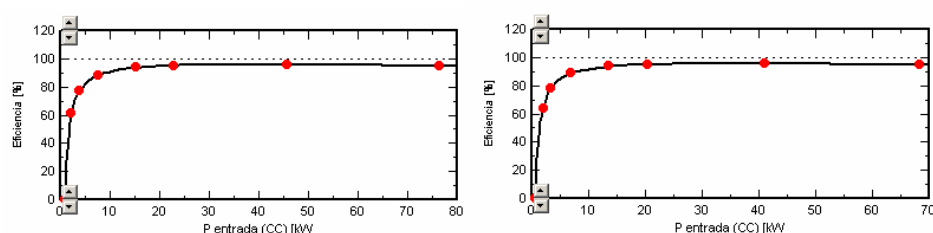


Figura 3. 13: Variació de l'eficiència dels inversors amb la potència d'entrada

Els paràmetres de sortida, és a dir, les característiques del corrent altern (CA) trifàsic abocat a la xarxa, seran constants i corresponen a valors de potència nominal de 76 kW i 68 kW, 110 A i 99 A d'intensitat nominal i tensió de xarxa de 400 V.

3.4.- SUBSISTEMA DE TRANSPORT ELÈCTRIC

El subsistema de transport elèctric està dividit en varis trams, ja que hi ha una distribució que depèn del nombre de mòduls connectats en sèrie (branques o ramals). Tal i com s'ha calculat en l'apartat 3.2.7 ("Connexió dels mòduls"), i com indica la Figura 3.11 i la Taula 3.3.

La instal·lació solar fotovoltaica es divideix en varis trams de connexió entre els diferents equips i caixes de connexió que la componen. Aquests trams de cablejat tindran diferents seccions de conductors, ja que la càrrega que circularà per cadascun d'ells serà diferent depenent del corrent que transportin.

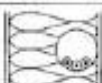



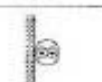

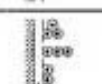
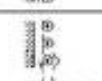
S'estableixen 3 trams diferenciats en cada camp de captació; els tres primers de corrent continu (CC) i l'últim de corrent altern (CA):

- 1) *Línia ramal* (CC). Constituïda pel tram de mòduls en sèrie . Aquesta línia comença en l'últim mòdul d'una sèrie de 20-22 mòduls (camp 1-2), fins una caixa de connexió de grup.
- 2) *Línia entrada a inversor* (CC). És una única línia que va des de la caixa connexió general fins l'inversor.
- 3) *Línia sortida inversor* (CA). Es tracta d'única línia que va des de l'inversor a la xarxa de baixa tensió.

Per més detall sobre la distribució dels mòduls, cal mirar els Plànols 3 i 4 (Esquemes Unifilars).

Pels trams de corrent contínua s'utilitzaran conductors de tipus 0,6/1kV de coure, amb aïllament de PVC (Policlorur de vinil, temperatura màxima 70°C, en servei permanent). El tipus d'instal·lació serà de conductors aïllats en tubs o canals de muntatge superficial (incloent safates) o empotrats en obra segons la definició del *REBT* en la norma ITC-BT-19.

La Taula 3.11 mostra les intensitats admissibles per les diferents seccions dels conductors.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR							
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR								
B		Conductores aislados en tubos ¹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR					
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ¹⁾				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
E		Cables multiconductores al aire libre ²⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0,3D ¹⁾					3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo ¹⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ¹⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾			
G		Cables unipolares separados mínimo D ¹⁾								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR		
			mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre			1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
			2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
			4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
			6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
			10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
			16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
			25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
			35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
			50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
			70				149	160	171	188	202	224	244	321
			95				180	194	207	230	245	271	296	391
			120				208	225	240	267	284	314	348	455
			150				236	260	278	310	338	363	404	525
			185				268	297	317	354	386	415	464	601
			240				315	350	374	419	455	490	552	711
			300				360	404	423	484	524	565	640	821

Taula 3. 11: Intensitats admissibles (A) a l'aire 40 °C. Nombre de conductors amb càrrega i tipus d'aïllament (2x indica circuit monofàsic) (ITC-BT-19)

Pel càlcul de la secció en els trams de corrent contínua s'utilitzarà l'equació:

$$s = \frac{2LI_{cc}}{uC}$$

On:

s és la secció teòrica del conductor [mm²]





L és la longitud del conductor [m]

I_{cc} és el corrent màxim que circularà pels conductors i coincideix amb la de curtcircuit del mòdul [A]

u és la caiguda de tensió [V], que com a màxim podran tenir els conductors. Segons el Plec de Condicions Tècniques de l'IDAE, la màxima caiguda de tensió permesa en conductors de CC és de 1,5%.

C és la conductivitat de l'element que forma el conductors; en aquest cas és coure i la seva conductivitat és 56 m/Ω mm²

En l'últim tram de la instal·lació on ja s'ha produït la conversió de potència contínua a potència alterna, la instal·lació de cablejat serà diferent. Els conductors de tipus 0,6/1 kV estaran soterrats, i estaran constituïts de coure amb aïllament PVC; el disseny es basarà en la norma ITC-BT-07 per xarxes subterrànies per distribució de baixa tensió. La Taula 3.12 mostra les intensitats admissibles per les diferents seccions de conductor soterrat.

SECCIÓN NOMINAL mm ²	Tema de cables unipolares (1) (2)			1cable tripolar o tetrapolar (3)		
	 			 		
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	56
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	550	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	565	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	-	-	-
630	885	870	770	-	-	-

Taula 3. 12: Intensitat màxima admissible [A], per cables amb conductors de coure en instal·lació soterrada (ITC-BT-07)

En aquest tram el cablejat serà trifàsic, per la qual cosa la secció teòrica mínima que s'utilitzarà en els conductors vindrà donada per l'equació:

$$s = \frac{LI \cos \varphi \sqrt{3}}{uC} = \frac{LP}{CuU_L}$$

On:

s és la secció teòrica del conductor [mm²]

L és la longitud del conductor [m]

P és la potència màxima que transporta el cable [W]

u és la caiguda de tensió [V] que com a màxim poden tenir els conductors.

Segons el *Pliego de Condiciones Técnicas* de l'IDAE, la màxima caiguda de tensió permesa en conductors de corrent alterna és del 2%.

C és la conductivitat de l'element que forma el conductors; en aquest cas és coure i la seva conductivitat és 56 m/Ω mm²

U_L és la tensió de línia de la xarxa [V]

3.4.1.- LÍNIA 1 RAMAL

Aquesta línia està compresa des de l'últim mòdul fotovoltaic d'una branca de mòduls en sèrie, fins una caixa de connexió de grup on arriben les sortides de tots els ramals de mòduls (segons sigui el camp 1 ó 2). En aquesta caixa de connexió de grup s'allotjaran els elements encarregats de la protecció de cadascuna de les branques per separat i les proteccions de cablejat d'interconnexió.

De les caixes de connexió, sortiran 2 conductors de major secció, un de polaritat positiva i altra negativa que formaran la següent línia (*línia entrada inversor*).

Els paràmetres pel càlcul de la secció mínima dels conductors en aquest tram són:

L és la longitud del conductor [m]. Es pren com a longitud del cable la distància del mòdul més allunyat fins la caixa de connexió de grup, que com a mínim és de 44 m, i pot arribar a 98 m.

I_{cc} és el corrent màxim que circularà pels conductors i és la intensitat de curtcircuit dels mòduls [A], multiplicat pel factor 1,25 (veure apartat 2.2.3.1 "Cablejat en el sistema de captació") Cada branca subministrarà un corrent màxim igual a la de curtcircuit de cadascun dels mòduls que el formen:

$$I_{cc} = I_{Max,mod} = 1,25 I_{SC,mod} = 8,69 A \cdot 1,25 = 10,86 A$$

u és la caiguda de tensió [V], que com a màxim podran tenir els conductors. Segons el *Plec de Condicions Tècniques* de l'IDAE, la màxima caiguda de tensió permesa en conductors de CC és de 1,5%.

En aquest tram existirà com a màxim una tensió igual a la tensió de circuit obert de cada panell, $V_{OC,mod} = 36,7 V$ (multiplicat pel factor 1,25) pel nombre de panells en sèrie que formen cada ramal, (20-22 unitats).

$$u = V_{OC,gen} = 1,25 \cdot V_{OC,mod} \cdot N_{S,mod}$$

Per tant la tensió en aquest tram és de:

$$\begin{array}{ll} 36,7 V \cdot 1,25 \cdot 20 \text{ mòduls} = 917,5V & \text{camp 1} \\ 36,7 V \cdot 1,25 \cdot 22 \text{ mòduls} = 1009,25 V & \text{camp 2} \end{array}$$

C és la conductivitat de l'element que forma el conductors; en aquest cas és coure i la seva conductivitat és $56 m/\Omega mm^2$

En tractar-se d'un tram de corrent continu, la secció mínima dels conductors es calcula amb l'equació corresponent:

$$s = \frac{2LI_{cc}}{0,015 \cdot uC}$$

Línia 1	I_{cc} (A)	u (V)	L_{min} (m)	L_{max} (m)	s (mm ²)	$S_{adoptada}$ (mm ²)	I_{admis} de $S_{adoptada}$ (A)
Camp 1	10,86	917,5	36	100	1,01-2,8	2,5 - 4	21 - 27
Camp 2	10,86	1009,25	38	108	0,97-2,76	2,5 - 4	21 - 27

Taula 3. 13: Resum dels paràmetres pel càlcul de secció en la "línia 1 ramal"

La secció adoptada pels conductors es considera a partir d'una secció de 2,5 mm², ja que una secció menor (1,5 mm² amb I admissible de 15 A) només seria vàlida per 5 ó 6 ramals més propers a la caixa de connexió, i per facilitat de muntatge és preferible considerar només dos seccions. A més, la secció de 1,5 mm² no se sol utilitzar.

Atenent a la Taula 3.11, el corrent màxim admissible del conductor del tipus 0,6/1kV de 2,5 mm², d'aïllament PVC i instal·lació de conductors aïllats en tubs o safates en muntatge superficial o empotrats en obra, és de 21 A; per 4 mm², la intensitat màxima són 27 A.

Les línies que estiguin a una distància de la connexió a la *línia d'entrada inversor* superior a 85 metres en el camp 1, o bé 94 metres en el camp 2, tenen una secció igual a 4 mm², mentre que per longituds inferiors tindran secció de 2,5 mm².

	Ramals amb $s = 2,5$ mm ²	Ramals amb $s = 4$ mm ²
Camp 1	15	5
Camp 2	17	5

Taula 3. 14: Nombre de ramals de diferents seccions de conductor en la "línia 1 ramal"

3.4.2.- LÍNIA 2 ENTRADA INVERSOR

Aquesta única línia rep la totalitat de les branques connectades en paral·lel en cada camp fotovoltaic. Està compresa entre la *caixa de connexió general* i l'*inversor*, situat en un dels laterals de la nau.

A l'inversor arriben dos cables, un positiu i altre negatiu corresponents al final del circuit de corrent contínua.

Els paràmetres de càlcul de la secció mínima dels conductors d'aquest tram són:

L és la longitud del conductor [m]. S'agafarà com a longitud del cable la distància entre la caixa de connexió del generador i l'entrada de l'inversor. Correspon a 7 m en el camp 1 i a 37 en el camp 2.

I_{cc} és el corrent màxim que circularà pels conductors i és la intensitat de curtcircuit dels panells [A]. Cada branca subministrarà un corrent màxim igual al la de curtcircuit de cadascun dels mòduls que el formen: 8,89 A multiplicat pel factor 1,25 i pel nombre de ramals que formen la instal·lació: $(1,25 \cdot I_{SC,mod} \cdot N_{P,mod})$

$$\begin{aligned} 8,69 \text{ A} \times 18 \text{ branques} \times 1,25 &= 195,52 \text{ A} && (\text{camp 1}) \\ 8,69 \text{ A} \times 15 \text{ branques} \times 1,25 &= 162,93 \text{ A} && (\text{camp 2}) \end{aligned}$$

u és la caiguda de tensió [V], que com a màxim podran tenir els conductors. Segons el Plec de Condicions Tècniques de l'IDAE, la màxima caiguda de tensió permesa en conductors de CC és de 1,5%.

En aquest tram existirà com a màxim una tensió igual a la tensió de circuit obert de cada panell, $V_{OC,mod} = 36,7 \text{ V}$ (multiplicat pel factor 1,25) pel nombre de panells en sèrie que formen cada ramal, (20-22 unitats).

$$u = V_{OC,gen} = 1,25 \cdot V_{OC,mod} \cdot N_{S,mod}$$

Per tant la tensió màxima en aquest tram és de:

$$\begin{aligned} 36,7 \text{ V} \cdot 1,25 \cdot 20 \text{ mòduls} &= 917,5 \text{ V} && \text{camp 1} \\ 36,7 \text{ V} \cdot 1,25 \cdot 22 \text{ mòduls} &= 1009,25 \text{ V} && \text{camp 2} \end{aligned}$$

C és la conductivitat de l'element que forma el conductors; en aquest cas és coure i la seva conductivitat és $56 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$.

En tractar-se d'un tram de corrent contínua, la secció mínima dels conductors es calcula amb l'equació:

$$s = \frac{2LI_{cc}}{0,015 \cdot uC}$$

Línia 2	I_{cc} (A)	u (V)	L (m)	s (mm ²)	$s_{adoptada}$ (mm ²)	I_{admis} de $s_{adoptada}$ (A)
Camp 1	195,52	917,5	7	3,55	95	194
Camp 2	162,93	1009,25	37	14,22	95	194

Taula 3. 15: Resum dels paràmetres pel càlcul de la secció en la "línia 2 entrada inversor"

Atenent a la Taula 3.11, el corrent màxim admissible del conductor de secció immediatament superior a la calculada (4 i 16 mm²), del tipus 0,6/1kV de, d'aïllament PVC i instal·lació de conductors aïllats en tubs o safates en muntatge superficial o embotrats en obra, és massa petit. Aquesta secció és massa petita per la intensitat que ha de circular, i per tant, es pren un valor de secció molt més elevat: 95 mm², amb una intensitat màxima admissible de 194 A.

S'opta per posar un cable de la mateixa secció (95 mm²) per les línies, encara que la I_{cc} del camp 1 és lleugerament superior a la intensitat admissible de la secció adoptada. Com que s'ha pres el factor de seguretat 1,25 i també gràcies a les proteccions, és possible prendre aquesta decisió.

3.4.3.- LÍNIA 3 SORTIDA INVERSOR

Aquesta línia, de corrent altern, és la de sortida de l'inversor, i es connecta amb la xarxa de baixa tensió.

Aquest tram estarà comprès des de la sortida trifàsica de l'inversor fins el punt de connexió a la xarxa de baixa tensió, on s'injectarà la potència produïda pel generador fotovoltaic convertida en alterna.

Aquest circuit serà en corrent altern i la seva instal·lació és diferent als altres trams dissenyats.

Els paràmetres de càlcul de la secció mínima dels conductors d'aquest tram són:

L és la longitud del conductor [m]. Es pren com a longitud del cable la distància entre l'inversor i el punt de connexió a la xarxa de baixa tensió, situat a 50 m.

P és la potència màxima que transporta el cable [W]. És la potència alterna màxima que pot entregar l'inversor a la seva sortida, i correspon a 84 kW pel camp 1 i 75 kW pel camp 2 (veure les dades de l'inversor en l'apartat 3.3 "Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric", en les taules 3.9 i 3.10)

U_L és la tensió de línia de xarxa [V]. A la sortida de l'inversor la tensió serà constant amb un valor de 400 V pels dos inversors.

u és la caiguda de tensió [V] que com a màxim podran tenir els conductors. Segons el *Pliego de Condiciones Técnicas* de l'IDAE, la màxima caiguda de tensió permesa en conductors de corrent alterna és del 2 %. A la sortida de l'inversor existirà una tensió alterna constant de 400 V, valor que s'injecta a la xarxa de baixa tensió. Per tant la caiguda de tensió màxima admissible en aquest tram serà de $0,02 \cdot 400 = 8$ V

C és la conductivitat de l'element que forma el conductor, en aquest cas coure ($56\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$).

El cablejat d'aquest tram es realitzarà amb conductors de coure aïllat en PVC soterrat en tub, i en tractar-se d'un tram de corrent alterna, s'utilitzarà l'equació pel càlcul trifàsic; la secció mínima dels conductors serà:

$$s = \frac{LI \cos \varphi \sqrt{3}}{uC} = \frac{LP}{CuU_L} = \frac{50 \cdot 84000}{56 \cdot 8 \cdot 400} = 23,43 \text{ mm}^2 \quad (\text{camp 1})$$

$$s = \frac{LI \cos \varphi \sqrt{3}}{uC} = \frac{LP}{CuU_L} = \frac{50 \cdot 75000}{56 \cdot 8 \cdot 400} = 20,92 \text{ mm}^2 \quad (\text{camp 2})$$

La secció normalitzada immediatament superior a la calculada en la Taula 3.12, és de 35 mm^2 , amb una intensitat màxima de 150 A.

El corrent que circularà des de l'inversor fins el punt de connexió a la xarxa de baixa tensió és proporcionat per la potència màxima que l'inversor pot entregar a la xarxa, que són 84 kW, i la tensió a la qual es realitzarà la connexió, 400 V, tenint en compte que segons el *Pliego de Condiciones Técnicas* de l'IDAE, el factor de potència proporcionat per les instal·lacions solars fotovoltaïques ha de ser igual a la unitat:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_L \cos \varphi} = \frac{84000}{400\sqrt{3}} = 121,24 \text{ A} \quad (\text{camp 1})$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_L \cos \varphi} = \frac{75000}{400\sqrt{3}} = 108,25 \text{ A} \quad (\text{camp 2})$$

El valor de corrent màxima admissible per cables tripolars o tetrapolars tipus 0,6/1kV de secció 35 mm² soterrat i amb aïllament en PVC segons mostra la Taula 3.12 de la norma ITC-BT-07 és de 150 A. Sobre aquest valor s'apliquen uns coeficients de reducció degut a que les condicions a les que pot trobar-se no són iguals a les condicions a les que es refereix la norma.

En estar soterrat, la capacitat de transport dels conductors baixa per no poder evacuar bé la calor provocada pel pas de corrent. Per aquest motiu s'aplica un factor de reducció sobre el valor del corrent admissible de 0,8.

El factor de temperatura del terreny s'ha de tenir en compte si és diferent de 25 °C segons la Taula 3.13 extreta de la norma ITC-BT-07

Temperatura de servicio Θ_s (°C)	Temperatura del terreno, Θ_t , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90	1.11	1.07	1.04	1	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78
70	1.15	1.11	1.05	1	0.94	0.88	0.82	0.75	0.67

Taula 3. 16: Factor de correcció F, per temperatura del terreny diferent de 25 °C

En tenir aïllament PVC, la temperatura de servei és de 70 °C. Si es considera que la temperatura del terreny serà aproximadament de 30 °C, el coeficient que s'ha d'aplicar és de 0,94.

La profunditat a la que estarà soterrat el conductor també suposa una disminució de la capacitat de transport. Aquest coeficient s'obté de la taula següent, de la norma ITC-BT-07:

Profundidad de instalación (m)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,80	0,90	1,00	1,20
Factor de corrección	1,03	1,02	1,01	1	0,99	0,98	0,97	0,95

Taula 3. 17: Factors de correcció per diferents profunditats de instal·lació

Considerant una profunditat d'un metre, el coeficient a aplicar sobre la intensitat màxima admissible pel conductor serà 0,97.

Si s'apliquen aquests coeficients en una secció de 35 mm², la intensitat admissible pel cable, $I_{admissible}$, en el camp 1 és menor a la intensitat que circularà pel conductor, per la qual cosa s'ha d'agafar una secció més gran de 50 mm².

La intensitat admissible pel conductor de 50 mm², amb les condicions descrites serà:
 $I_{admissible} = 180 \text{ A} \cdot 0,8 \cdot 0,94 \cdot 0,97 = 131,29 \text{ A}$, que és un valor superior de corrent màxima que circularà per aquest tram del camp 1, i per tant, és una secció vàlida.

Es considera posar els cables d'aquest tram, tant en el camp 1 com en el camp 2, de la mateixa secció de 50 mm², encara que pel camp 2 es podria posar una secció menor de 35 mm².

Línia		Caiguda de tensió (V)	L (m)	Intensitat màxima (A)	I_{cc}	Secció calculada (mm ²)	Secció adoptada (mm ²)	I_z Intensitat màxima cable (A)
3								
	Camp 1	400	50	121,24		23,43	50	180
	Camp 2	400	50	108,25		20,92	50	180

Taula 3. 18: Paràmetres elèctrics pel càlcul de la secció de la "línia 3 sortida inversor"

3.4.5.- CABLEJAT DE PROTECCIÓ

Segons la norma *ITC-BT-18* del *REBT*, els conductors de proteccions hauran de ser del mateix material que els conductors actius utilitzats en la instal·lació. en aquest cas seran de coure i aniran allotjats en la canalització pels conductors actius de la instal·lació. La secció dels conductors de protecció està determinada per la següent taula:

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Taula 3. 19: Relació entre les seccions dels conductors de protecció i els de fase

Per tant, els conductors de protecció tindran diferent secció depenent del tram de cablejat on es trobi:

Línia Ramal

$$S_{\text{conductors fase}} = 2,5 \text{ mm}^2 / 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{conductor protecció}} = 2,5 \text{ mm}^2 / 4 \text{ mm}^2$$

Línia entrada inversor

$$S_{\text{conductors fase}} = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{conductor protecció}} = 50 \text{ mm}^2$$

Línia sortida inversor

$$S_{\text{conductors fase}} = 50 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{conductor protecció}} = 25 \text{ mm}^2$$

Després d'escollir les seccions finals de les línies de la instal·lació s'ha elaborat una taula resum (Taula 3.20) on es mostra la secció final escollida, el número de conductors i la secció dels conductors per cada una de les línies de la instal·lació.

El nombre de conductors que formen cada línia de corrent continu, és de 3 conductors (positiu, negatiu i terra). La secció dels conductors positiu i negatiu serà la mateixa secció que el valor de la secció final adoptada. Per últim, el conductor de protecció (terra) tindrà una secció, que s'ha obtingut a partir de la taula 3.16 d'aquest mateix apartat.

Línies	Secció (mm ²)	final (positiu i negatiu + terra) (3 fases + terra)	CC CA
1	2,5 -4	2 x 2,5 (4) + 1 x 2,5 (4)	
2	95	2 x 95 + 1 x 50	
3	50	3 x 50 + 1 x 25	

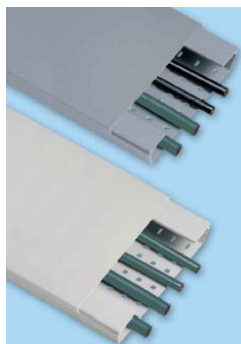
Taula 3. 20: Taula resum dels conductors de cada línia

3.4.6.- CANALS PROTECTORS

Se seguirà la normativa ITC-BT-21 per la disposició dels cables en tubs o canals protectors.

S'ha optat per safates marca *UNEX*, model *66U23X* aïllants amb tapa de PVC M1, per les seves bones característiques tècniques:

- Protecció contra contactes directes i indirectes
- Sense necessitat de posada a terra
- Evita corrents de fuga, curtcircuits amb les safates i arcs elèctrics
- El tall de safates no produeix arestes que facin malbé l'aïllament dels conductors



Aquestes safates protegiran els cables de les diferents línies ramal, fins l'inversor.

3.5.- PROTECCIONS

Els dispositius de maniobra i protecció recauen sobre un únic dispositiu. Un interruptor automàtic (també anomenat disjuntor o interruptor de potència o magnetotèrmic; PIA o petit interruptor automàtic, si < 63 A) realitza ambdós funcions: maniobra (connexió i desconexió), i protecció (contra sobreintensitats, sobrecàrregues i curtcircuits).

Segons es desprèn dels càlculs dels conductors, per no augmentar excessivament les seccions, s'instal·len interruptors automàtics en totes les línies.

L'inversor disposa de dispositius de maniobra i protecció ja integrats, però es poden instal·lar, com a proteccions suplementàries altres dispositius com fusibles o interruptors automàtics, que instal·lats de manera aïllada podrien resultar insuficients. En tots els cassos, tant els interruptors automàtics com els fusibles emprats han d'estar dissenyats per corrent contínua.

Per proporcionar tant als equips que formen la instal·lació solar fotovoltaica com el personal encarregat del seu manteniment i correcta operació, és necessari proporcionar una sèrie d'elements de protecció que assegurin una explotació correcta de la instal·lació.

El càlcul de les proteccions es realitzarà independentment per cadascú dels trams que formen la instal·lació, diferenciant entre corrent continu i corrent altern. Les proteccions depenen del tipus de corrent i del valor de corrent admissible pels conductors.

Encara que els fusibles i interruptors per corrent continu són diferents als de corrent altern, el seu càlcul és similar; segons la norma *ITC-BT-22 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión*, un dispositiu protegeix contra sobrecàrregues a un conductor si es verifiquen les següents condicions:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_F \leq 1,45 \cdot I_Z$$

on:

I_B és el corrent d'utilització

I_N és el corrent nominal del dispositiu de protecció

I_Z és el corrent màxim admissible per l'element a protegir

I_F és el corrent convencional de funcionament o de fusió del dispositiu de protecció (generalment, els seus valors oscil·len de 1,25 a 1,45 I_N per interruptors automàtics, i de 1,6 a 2,1 I_N en el cas de fusibles)

En la protecció per interruptor magnetotèrmic normalitzat es compleix sempre la segona condició, per la qual cosa només s'ha de verificar la primera condició.

En la protecció per fusible tipus *gG* es compleix que $I_F = 1,6 I_N$, i per tant s'han de verificar les dos condicions de la norma.

L'esquema unifilar de la instal·lació mostra els trams que pertanyen a la part de corrent continu, que van des de els mòduls solars fins a l'inversor (Plànols 3 i 4).

3.5.1.- LÍNIA RAMAL – CAIXA DE CONNEXIONS

Aquest tram és protegit contra sobreintensitats mitjançant petits interruptors automàtics o PIA a cadascun dels ramals de mòduls, que provoquen l'obertura del circuit en el cas de produir-se un corrent superior a l'admissible pels equips o conductors de la instal·lació. Cada ramal tindrà una PIA d'identiques característiques. Normalment es col·loquen fusibles com a protecció, ja que és una opció més econòmica, però en aquest cas s'ha escollit posar PIAs, perquè es poden utilitzar com a seccionadors en el cas d'operacions de manteniment o d'altre tipus; a més, en el cas que hagi una sobreintensió o sobreintensitat, després de resoldre el problema, es tornen a connectar, i no cal recanviar el fusible.

La secció del conductor que forma aquest tram d'instal·lació és de 2,5 i 4 mm². Els paràmetres pel dimensionament de les PIA serà:

$$I_B = I_{\text{mmp mod}} = 7,9 \text{ A}$$

$$I_Z = I_{\text{MAX admissible}} = 21 - 27 \text{ A (2,5 - 4 mm}^2\text{)}$$

Per tant, perquè es compleixi la condició, com a mínim el corrent nominal de la PIA serà:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$7,9 \leq I_N \leq [21 - 27] A$$

$$I_N = 10 A$$

S'utilitzaran interruptors automàtics (PIA) per CC, de 10 A en cada ramal de panells connectats en sèrie. En total es col·locaran 33 PIA, col·locades en les seves corresponents *caixes de connexió* de cada camp (18 PIA en el camp 1 i 15 en el camp 2).



Figura 3. 14: Interruptor automàtic de 10 A, model S803PV-S10 i esquema de connexió

El model S803PV-S10 és de tres pols i és vàlid per voltatges fins a 1200 Vcc; protegeix contra corrents inversos que es poden produir en curtcircuits o fallades de terra d'alguna part del ramal.

La *caixa de connexions* rep totes les branques connectades en paral·lel d'un camp fotovoltaic. Per tant, cada camp tindrà una caixa de connexió. D'aquesta caixa surt la *Línia entrada a inversor*, que va fins a l'inversor.

3.5.2.- QUADRE DE CONTROL I PROTECCIÓ IFV

Després de les proteccions de cada ramal la *Línia 2 entrada a inversor* estarà protegida per tres elements:

- 1) Descarregador (dispositiu de protecció contra sobretensions)

Les instal·lacions fotovoltaïques que ocupen una superfície considerable estan exposades a les descàrregues atmosfèriques i les conseqüents sobretensions transitòries. Les conseqüències d'aquestes sobretensions són la reducció del rendiment i la vida útil de la instal·lació. L'ús de proteccions contra sobretensions garanteix l'optimització del rendiment de la instal·lació i es mostra com una decisió rentable.

Els protectors de sobretensió descarreguen a terra els pics de tensió transitoris que es transmeten a través dels cables de la instal·lació elèctrica.

Les proteccions contra sobre tensions de tipus atmosfèric poden ser de dos classes:

Classe I. Protectors que estan destinats a ser instal·lats en les extremitats de les línies exteriors de la instal·lació fotovoltaica per protegir-la contra impactes directes de rajos. Aquest tipus de protecció no s'utilitzarà en aquesta instal·lació en tractar-se d'una zona de baix risc d'impacte directe per un raig.

Classe II. Aquestes proteccions es destinen a la protecció de les xarxes d'alimentació fotovoltaica contra les sobretensions transitòries degudes a descàrregues atmosfèriques indirectes que es produeixen a una determinada distància de la instal·lació fotovoltaica i indueixen una sobretensió.

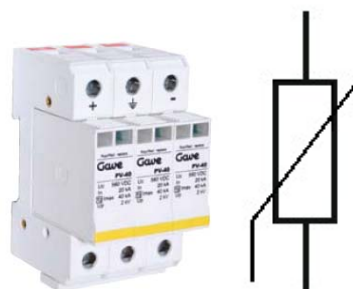


Figura 3. 15: Protecció contra sobretensió Solartec PST31PV, Classe II, i símbol normalitzat

Per l'elecció de la protecció contra sobretensions per utilitzar en aquesta instal·lació, es té en compte la tensió màxima de funcionament que pot produir-se en el generador fotovoltaic, per poder escollir un descarregador que suporti aquesta tensió. Aquesta tensió màxima apareix quan els panells treballen en condicions de circuit obert i a una temperatura ambient de -5°C . Es produeix una tensió de $713,71\text{ V}$ (valor calculat en l'apartat 3.2.9, "Correcció de tensió i corrent degudes a la temperatura", Taula 3.7), i per tant s'escull un descarregador amb una tensió de règim permanent superior a aquest valor.

S'ha escollit el descarregador *Solartec PST31PV* que té les característiques tècniques indicades en la Taula 3.17.

En total es posaran 2 descarregadors d'aquest tipus, per cada camp de mòduls, i aniran col·locats en la seva corresponent caixa de connexió de grup (veure Plànols 3 i 4, Esquemes Unifilars).

		PST31PV
tensión de régimen perm. máx.	U_c	1000VDC
corriente de descarga nominal	I_n	20 kA
corriente de descarga máxima	I_{max}	40 kA
nivel de protección (a I_n)	U_p	3 kV

Taula 3. 21: Característiques del descarregador Solartec PST31PV

2) Vigilant d'aïllament i interruptor de corrent continu

L'equip vigilant d'aïllament detecta la falta d'aïllament a terra en instal·lacions fotovoltaïques, donant una ordre de sortida instantània a un interruptor de corrent continu, per curtcircuitar la tensió de sortida dels mòduls, assegurant d'aquesta manera que la instal·lació queda sense tensió. El rearmament automàtic restableix la situació normal si el defecte d'aïllament ha desaparegut, donant una ordre de desconnexió del curtcircuit a l'interruptor.

La opció del vigilant d'aïllament substitueix a l'interruptor diferencial, ja per corrent continu la protecció diferencial no funciona.

El model escollit, de la marca *PROAT*, és el *FAC3/300/I*, amb rearmament automàtic.



- Tensión Vigilancia (V_N) hasta 1000 Vcc
- Margen de funcionamiento: V_N -50% a V_N
- Tensión auxiliar: 230 Vca
- Consumo en reposo: 0.5 W (a V_N)
- Consumo con defecto: <6 W
- Tiempo respuesta: <200ms
- Resistencia defecto: 20k Ω a 80k Ω
- Normas que cumple:
 - Reglamento Baja tensión
 - Normativa EMC, Inmunidad
 - Conforme RD 1663/2000
- Propiedades de los contactos de los relés:
 - Corriente permanente: 5 A.
 - Tensión máx.conmut.: 230 Vca.
 - Pot. Máx. Conmutac. : 1000 VA.

Figura 3. 16: Vigilant d'aïllament PROAT, model FAC3/300/I, i característiques tècniques

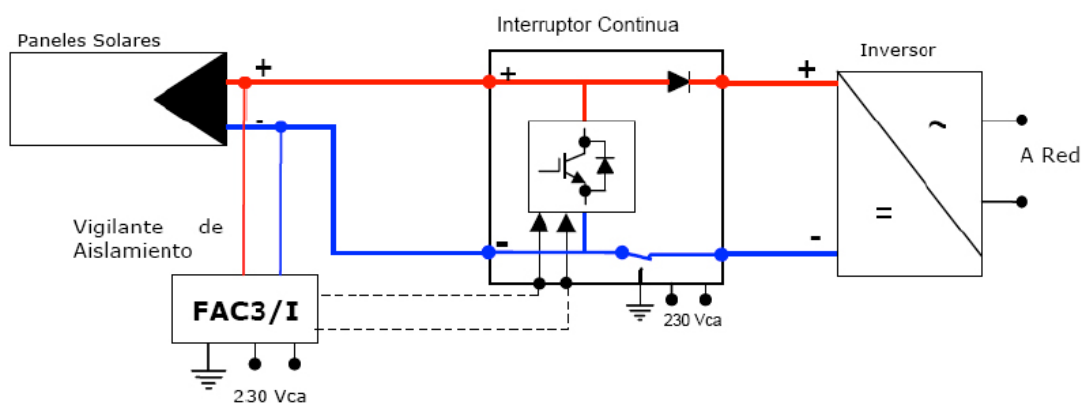


Figura 3. 17: connexió del vigilat d'aïllament i interruptor de CC en la instal·lació fotovoltaica

L'interruptor, de la marca PROAT, és el model *INFAC H*:

DATOS TÉCNICOS

- Tensión de corte hasta 1000 Vcc
- Intensidad de cortocircuito: 20, 40 ó 60 A (modelos L, M y H).
- Consumo máximo en Reposo Activado
 - o Modelo L (20A): 15W 20W
 - o Modelo M (40A): 30W 40W
 - o Modelo H (60A): 45W 60W
- Tiempo respuesta: <100ms
- Caída tensión entrada-salida: <1V
- Reglamento Baja tensión
- Normativa EMC, Inmunidad
- Aislamiento: Vca (Clase II)
- Aislamiento: Vcc (Clase I)



Figura 3. 18: Interruptor de CC, PROAT, model INFAC H, i característiques tècniques

3) Interruptor automàtic (dispositiu de protecció i maniobra)

En la *línia entrada a inversor* s'instal·len també interruptors automàtics per la protecció contra sobreintensitats per evitar que se sobrepassin valors de corrent superiors a les admissibles pels conductors.

La secció del conductor que forma aquest tram és de 95 mm², per la qual cosa, els paràmetres pel dimensionat dels interruptors serà:

$$\begin{aligned}
I_B &= 18 \text{ branques} \cdot I_{mpp_mod} = 18 \cdot 7,9 \text{ A} = 142,2 \text{ A} && \text{camp 1} \\
I_B &= 15 \text{ branques} \cdot I_{mpp_mod} = 15 \cdot 7,9 \text{ A} = 118,5 \text{ A} && \text{camp 2} \\
I_Z &= I_{MAXadmis} = 194 \text{ A} && \text{pel cable de 95 mm}^2
\end{aligned}$$

Per tant, per que es compleixi la condició, el corrent mínim nominal de l'interruptor serà:

$$\begin{aligned}
I_B &\leq I_N \leq I_Z \\
I_B &\leq I_N \leq 194 \\
I_N &= 160 \text{ A}
\end{aligned}$$

Per tant s'utilitzaran 2 interruptors de 160 A per cada camp, i es col·loquen en la seva corresponent *caixa de connexió de grup* (veure Plànols 3 i 4, Esquemes Unifilars).

Seràn uns interruptors per CC, Schneider *INT.COMPACT NS 160 NA 2P*

Intensidad asignada (A) In	160
Poder de cierre Máximo en cortocircuito Icm (kA cr)	330
Poder de cierre Mínimo en cortocircuito Icm (kA cr)	3,6
Tensión asignada de aislamiento (V) Ui	750 V
Masa (kg)	1.5 a 1.8
Intensidad térmica convencional Ith (A) (60°C)	160
Normas	IEC 60947-3 y EN 60947-3
Tensión nominal CC (V)	500 V CC
Tensión nominal CA 50/60 Hz (V)	690
tipo	NA
función	NS160
conexión	Fijo anterior
Dimensiones (mm) L*H*P	105*161*86
número de polos	2P

Taula 3. 22: Característiques tècniques de l'interruptor *Shneider INT. Compact NS 160 NA 2P*

Cada camp fotovoltaic tindrà la seva pròpia *caixa de connexió* on s'instal·len les *PIA* de 10 A encarregats de la protecció de les branques. El descarregador, el diferencial i l'interruptor de 160 A encarregats de la protecció del segon tram, estaran en la mateixa caixa de connexió, però formant part de la "línia 2 entrada a inversor".

La caixa o armari utilitzat com a caixa de connexió de generador fotovoltaic serà de dimensions 1000x550x160, amb grau de protecció IP-65 amb entrada per canalitzacions, per superfície o empotrable i tancament amb clau.



3.5.3.- LÍNIA SORTIDA INVERSOR –CPMV /GCP

Aquesta línia consta de:

1) Interruptor diferencial. Proporciona protecció a les persones contra descàrregues elèctriques, tant per contactes directes com indirectes, i també protecció a la instal·lació, ja que detecta fuites a terra mesurant el corrent que circula pels conductors.

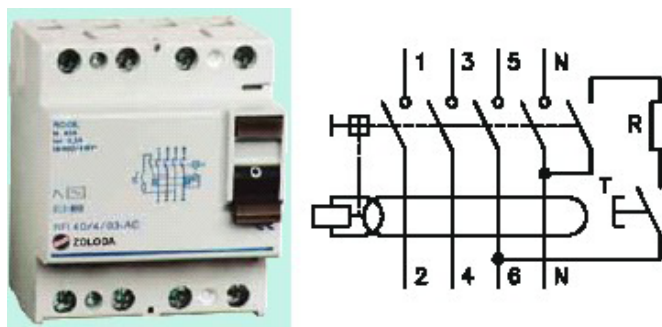


Figura 3. 19: Interruptor diferencial tetrapolar i símbol normalitzat

Segons la norma ITC-BT-25 del *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión*, els interruptors diferencials han de tenir una intensitat diferencial-residual màxima de 30 mA per aplicacions domèstiques i 300 mA per altres aplicacions i intensitat assignada igual a la de l'interruptor general.

La protecció diferencial per l'equip de protecció i mesura *TMF10* serà de 160 A (55 a 111 kW), amb toroïdal de 70 mm de diàmetre, sortida superior o lateral, muntat en caixa modular de polièster reforçat amb fibra de vidre

3) Interruptor automàtic. Es tracta d'un interruptor automàtic magnetotèrmic que funciona amb corrent alterna.



Figura 3. 20: Interruptor automàtic modular tetrapolar i el seu símbol normalitzat

Per l'elecció de l'interruptor magnetotèrmic:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

En protecció per magnetotèrmic normalitzat no és necessari comprovar la segona condició (per fusibles) ja que la intensitat convencional de disparament dels interruptors és $I_F \leq 1,45 \cdot I_Z$, i per tant sempre es compleix. Només és necessari comprovar la primera condició.

Pel càlcul de la intensitat nominal de l'interruptor en aquest tram, és necessari calcular el corrent màxim admissible pels conductors i el corrent normal d'ús que es produirà en aquest tram.

La secció dels conductors en aquest tram és de 50 mm², per tant, segons la Taula 3.12, el corrent màxim admissible pels conductors és $I_Z = I_{MAXadmis-cond} = 180A$

El valor de la intensitat nominal de funcionament que circularà pel tram ve donat per la potència màxima que l'inversor pot entregar a la xarxa, que és de 84.000 W i 75.000 W (camp 1 i camp 2), i la tensió a la qual es realitzarà la connexió (400 V). Segons el *Pliego de Condiciones Técnicas* de l'IDAE, el factor de potència proporcionat per les instal·lacions solars fotovoltaïques ha de ser igual a la unitat:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{84000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 121,24A \quad \text{Camp 1}$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{75000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 108,25A \quad \text{Camp 2}$$

El valor de la intensitat nominal de l'interruptor magnetotèrmic serà:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$[108,25 - 121,24] \leq I_N \leq 180$$

$$I_N = 160 A$$

L'interruptor automàtic magnetotèrmic tindrà una intensitat nominal de 160 A en la línia de l'inversor i el punt de connexió a la xarxa de baixa tensió.

A més de les condicions estàndard que han de complir tots els interruptors, aquest magnetotèrmic ha de tenir una capacitat de tall igual o superior a la intensitat de curtcircuit, norma que posa la companyia distribuïdora. FECSA ENDESA assenyala que la intensitat de curtcircuit que pot produir-se en un punt de connexió a la seva xarxa és de 10 kA. Per tan aquest interruptor ha de tenir una capacitat de tall de almenys aquest valor.

És tracta un interruptor tetrapolar (4P) de 160 A regulable entre 80 i 160 A i poder de tall 10 kA, i està dintre d'un bloc de protecció per equips TMF10.

Després d'aquest interruptor està col·locat el comptador multifunció, i finalment els fusibles.

3) Fusibles. A més de les proteccions obligatòries establertes en l'R.D.1633/200, la companyia distribuïdora obliga a la instal·lació d'un fusible en la connexió a la xarxa. La secció de conductor en aquest tram és de 50 mm², per tant el corrent màxim admissible pels conductors, segons la Taula 3.9, és $I_Z = 180$ A. El corrent normal de funcionament calculat és de 121,24 (camp1) i 108,25 A (camp 2), per tant:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$[108,25 - 121,24] \leq I_N \leq 180$$

$$I_N = 160 \text{ A}$$

A continuació es calcula el corrent convencional de fusió d'aquest fusible comprovant si la dimensió del fusible és correcta.

$$I_F \leq 1,45 \cdot I_Z$$

$$I_F = 1,6 \cdot I_N = 1,6 \cdot 160 = 256 \text{ A}$$

$$I_F \leq 1,45 \cdot I_Z$$

$$256 \text{ A} \leq 1,45 \cdot 180 (= 261 \text{ A})$$

S'utilitzaran fusibles cilíndrics industrials tipus gG de 160 A marca *LEGRAND*, sobre portafusibles seccionables.



Figura 3. 21: Fusible i portafusible

En total es posen 4 fusibles en el CGP de cada camp fotovoltaic. Després dels fusibles hi ha la connexió a la xarxa de Baixa Tensió (PCM).

3.6.- CÀLCUL DE LA PRODUCCIÓ ELÈCTRICA ANUAL

L'energia produïda, durant una hora, per un panell de potencia pic P_{mod} (Wp) sobre el que incideix una radiació solar d'una intensitat igual a 1.000 W m^{-2} és igual a P_{mod} (Wh). Si en lloc d'una hora, la radiació solar de 1.000 W m^{-2} incideix sobre el panell durant H_s hores (és a dir, H_s hores pic, HSP), l'energia produïda pel panell serà igual a:

$$H_s \cdot P_{mod} \text{ (Wh)}$$

Per tant:

$$H_s \cdot P_{mod} = \text{Energia diària produïda per un panell} \\ (\text{kWh m}^{-2}\text{dia}^{-1}) \cdot (\text{Wp}) = (\text{Wh} \cdot \text{dia}^{-1})$$

El valor H_s és el valor mitjà anual de radiació solar diària per la inclinació i orientació definides, segons la Taula 3.2 (apartat 3.1 "Radiació solar de l'emplaçament").

$H_s \cdot P_{mod}$ = Energia diària produïda per un panell	1067,37	Wh.dia ⁻¹
H_s (HSP)	promig de la radiació diària disponible	4,54 kWh.m ⁻² .dia ⁻¹
P_{mod}	potència pic (= potència màxima)	235 Wp

La producció elèctrica anual ve determinada pel nombre de mòduls fotovoltaics (la seva superfície útil de captació) i el rendiment dels mòduls.

Segons la Taula 1.2, l'energia solar anual captada (E_{cap}), per una orientació 0° acimut i 30 ° d'inclinació, és 1657,84 kWh/m²·any.

L'energia anual generada E_{Elec} , vé determinada per l'expressió:

$$E_{Elec} = E_{cap} \cdot S_{totcap \text{ útil}} \cdot \eta_{mod}$$

On:

E_{Elec} : energia elèctrica anual generada, en kWh/any

E_{cap} : energia solar anual captada, en kWh/m²·any

$S_{totcap \text{ útil}}$: superfície útil total de captació solar, en m²

El rendiment d' un mòdul, η_{mod} , tal com s'ha calculat anteriorment (apartat 3.2.2) és:

$$\eta_{mod} = P_{mod} / (1000 \cdot S_{mod \text{ útil}}) = 0,16 \\ \text{Wp} / [(1000 \text{ W/m}^2) \cdot \text{m}^2]$$

I la superfície útil total de captació calculada, $S_{totcap \text{ útil}}$, és igual a $S_{mod \text{ útil}} \cdot N_{mod}$ (veure apartat 3.2.2). ($S_{mod \text{ útil}} = 1,46 \text{ m}^2$)

	N_{mod} (unitats)	$S_{totcap \text{ útil}}$ (m ²)
Camp 1	360	525,658
Camp 2	330	481,85

El resultat de l'energia elèctrica generada per cada camp és:

$E_{Elec} = 140.253,34$ kWh/any	Camp 1
$E_{Elec} = 128.565,57$ kWh/any	Camp 2

L'energia anual abocada a la xarxa (sense tenir en compte les pèrdues), ve donada per l'expressió:

$E_{xarxa} = E_{Elec} \cdot \eta_{inv} = 132.819,92 \text{ kWh/any}$	Camp 1
$E_{xarxa} = E_{Elec} \cdot \eta_{inv} = 121.623,03 \text{ kWh/any}$	Camp 2

Taula 3. 23: Energia abocada a la xarxa de cada camp fotovoltaic (sense pèrdues)

On η_{inv} és l'eficiència de l'inversor segons el fabricant, que en aquest cas pren un valor de 0,947 (camp 1) i 0,946 (camp 2), (veure apartat 3.3 "Subsistema d'adaptació del subministrament elèctric").

Finalment, la suma de l'energia dels dos camps proporciona l'energia total injectada a la xarxa de baixa tensió, sense tenir en compte les pèrdues:

$$E_{xarxaTOTAL} = 254.442,94 \text{ kWh/any}$$

3.7.- RENDIMENT ENERGÈTIC DE LA INSTAL·LACIÓ. PÈRDUES

Es defineix el *Rendiment energètic de la instal·lació, PR*, com l'eficiència de la instal·lació en condicions reals de treball per al període de disseny.

Aquest factor considera les pèrdues en la eficiència energètica degudes a:

- temperatura
- cablejat
- dispersió de paràmetres i brutícia
- errors en el seguiment del punt de màxima potència
- eficiència energètica d'altres elements en operació com el regulador (η_{rb})
- eficiència energètica de l'inversor (η_{inv})
- altres

PR pot englobar tants factors com el disseny pugui quantificar, a fi d'establir un valor d'eficiència de la instal·lació el més aproximat a les condicions reals, i s'estima mitjançant una expressió. El seu valor varia en el temps en funció de les diferents condicions a les que es està sotmesa la instal·lació.

$$PR (\%) = (100 - A - P_{temp}) \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F$$

Cada un dels termes de l'expressió de PR és complex per la qual cosa s'expliquen per separat.

$$A = A1 + A2 + A3 + A4$$

- A1** Representa la dispersió dels paràmetres entre els mòduls, degut a que no operen normalment en les mateixes condicions que les reconegudes com estàndard de mesura, *CEM*. Un rang de valors del 10% és una dispersió elevada, un 5% és un valor adequat, i valors inferiors al 5% s'identifiquen amb un bon camp solar en aquest aspecte.

- A2 Representa l'efecte de la pols i la brutícia dipositada sobre els mòduls solars. Aquest és un valor molt variable, ja que depèn de l'emplaçament de la instal·lació. Evidentment, una instal·lació propera a una via no asfaltada es trobarà més afectada per la pols que altra situada en una zona urbanitzada. El mateix es pot esperar amb la pol·lució en les ciutats. La possibilitat de realitzar manteniments periòdics en aquest aspecte influeix a l'hora d'estimar aquest coeficient. El rang de valors estaria entre l'1 % per instal·lacions poc afectades per la pols i la brutícia, fins el 8 % on aquest aspecte pot tenir una major influència.
- A3 Contempla les pèrdues per reflectància angular i espectral. L'acabat superficial de les cèl·lules té influència sobre aquest coeficient, presentant majors pèrdues en les cèl·lules amb capes antirreflexives que les que estan texturitzades. També la estacionalitat influeix en aquest paràmetre, augmentant les pèrdues en hivern, així com la latitud. Un rang de valors pot estar entre el 2 % i el 6 %.
- A4 Representa el factor d'ombres, FS. Un rang de valors pot ser entre l' 1 % (valor mínim per defecte) i el 10 % que és el valor màxim a partir del qual les ombres poden repercutir negativament en el correcte funcionament de la instal·lació.

▪ **P_{temp}** representa les pèrdues mitjanes anuals degudes a l'efecte de la temperatura sobre les cèl·lules fotovoltaïques.

$$P_{temp} (\%) = 100 \cdot [1 - 0,0035 \cdot (T_c - 25)]$$

T_c és la temperatura de treball de les cèl·lules solars

$$T_c = T_{amb} + \left(\frac{T_{amb}}{TONC} - 20 \right) \cdot E/800$$

T_{amb}
 $TONC$

Temperatura ambient en °C

Temperatura d'operació nominal del mòdul fotovoltaic. Aquest valor el proporciona el fabricant.

E

Irradiància solar en W/m²

La temperatura de les cèl·lules s'eleva per sobre de la temperatura ambient de manera proporcional a la irradiància incident, la qual cosa té com a conseqüència una reducció del rendiment de les mateixes.

(En el silici cristal·lí, es pot estimar que per cada grau que augmenti la temperatura en la cèl·lula solar per sobre de 25 °C, el rendiment decreix un 0,4 %)

Per exemple, el rendiment d'una cèl·lula fotovoltaica, que en condicions estàndard (25 °C) és del 15 %, i en condicions de funcionament la seva temperatura arriba als 60 °C, serà:

$$Rend_{T1} (\%) = Rend_{25^{\circ}C} (\%) \cdot [1 - (T_1 - 25) \cdot 0,4/100]$$

$$Rend_{60^{\circ}C} (\%) = 15 \cdot [1 - (60 - 25) \cdot 0,4/100] = 12,9 \%$$

La temperatura és un factor a tenir en compte en el moment d'estudiar l'emplaçament de la instal·lació. Llocs ventilats redueixen la temperatura d'operació dels mòduls fotovoltaics presentant majors rendiments que aquells llocs que no ho estan. És un factor important en instal·lacions que contemplin la seva integració com un element diferenciador.

Pot donar-se el cas que la màxima producció d'una instal·lació no es correspongui amb els períodes estivals, sinó amb períodes de primavera i tardor, on els índex de radiació són bons i la temperatura ambient és menor que a l'estiu, a pesar de que a l'estiu hi hagi més radiació.

- **B** Coeficient relacionat amb les pèrdues en el cablejat de la part de corrent contínua, és a dir, entre els mòduls fotovoltaics i l'inversor. S'inclouen les pèrdues en els fusibles, commutadors, conexionats, etc.

$$B = (1 - L_{cab_{cc}})$$

El valor màxim admissible per $L_{cab_{cc}}$ és de 1,5 % per la qual cosa, el valor màxim de B serà 0,985.

- **C** Coeficient relacionat amb les pèrdues de cablejat, per en la part de corrent alterna.

$$C = (1 - L_{cab_{ca}})$$

El valor màxim admissible per $L_{cab_{ca}}$ és de 2 % i un valor recomanable és del 0,5 %, per la qual cosa C tindrà valors compresos entre 0,980 i 0,995.

- **D** Està relacionat amb les pèrdues per disponibilitat de la instal·lació. amb aquest coeficient es quantifiquen les pèrdues degudes a la parada de la instal·lació, de manera parcial o total, degut a fallades de la xarxa, manteniment, etc.

Un valor adequat per les pèrdues per dispersió és el 5 %, per la qual cosa el valor màxim de D serà de 0,95 %.

- **E** Representa els valors d'eficiència de l'inversor. En aquest cas s'ha d'atendre als valors de rendiment europeu i a la potència de l'inversor.

En funció de la potència nominal de sortida, com a mínim el valor de E serà:

Rang de la potència Inversor major de 5 kW nominal	
25 %	0,90
100 %	0,92

- **F** està relacionat amb les pèrdues pel no seguiment del *Punt de Màxima Potència (PMP)*, i en els llindars de posada en marxa de l'inversor.

$$F = (1 - L_{pmp})$$

Uns valors de referència per aquestes pèrdues poden estar entre el 5 % i el 10 %, podent agafar un valor de referència del 8 %, per la qual cosa F tindrà valors compresos entre 0,95 i 0,90.

Tots aquests factors redueixen finalment E_{cap} , l'energia solar anual captada, en kWh/m²·any, per la qual cosa l'energia generada per la instal·lació també disminueix.

La simulació amb el software *PVSyst*, permet observar les pèrdues per aquesta instal·lació, com mostra la figura 3.22:

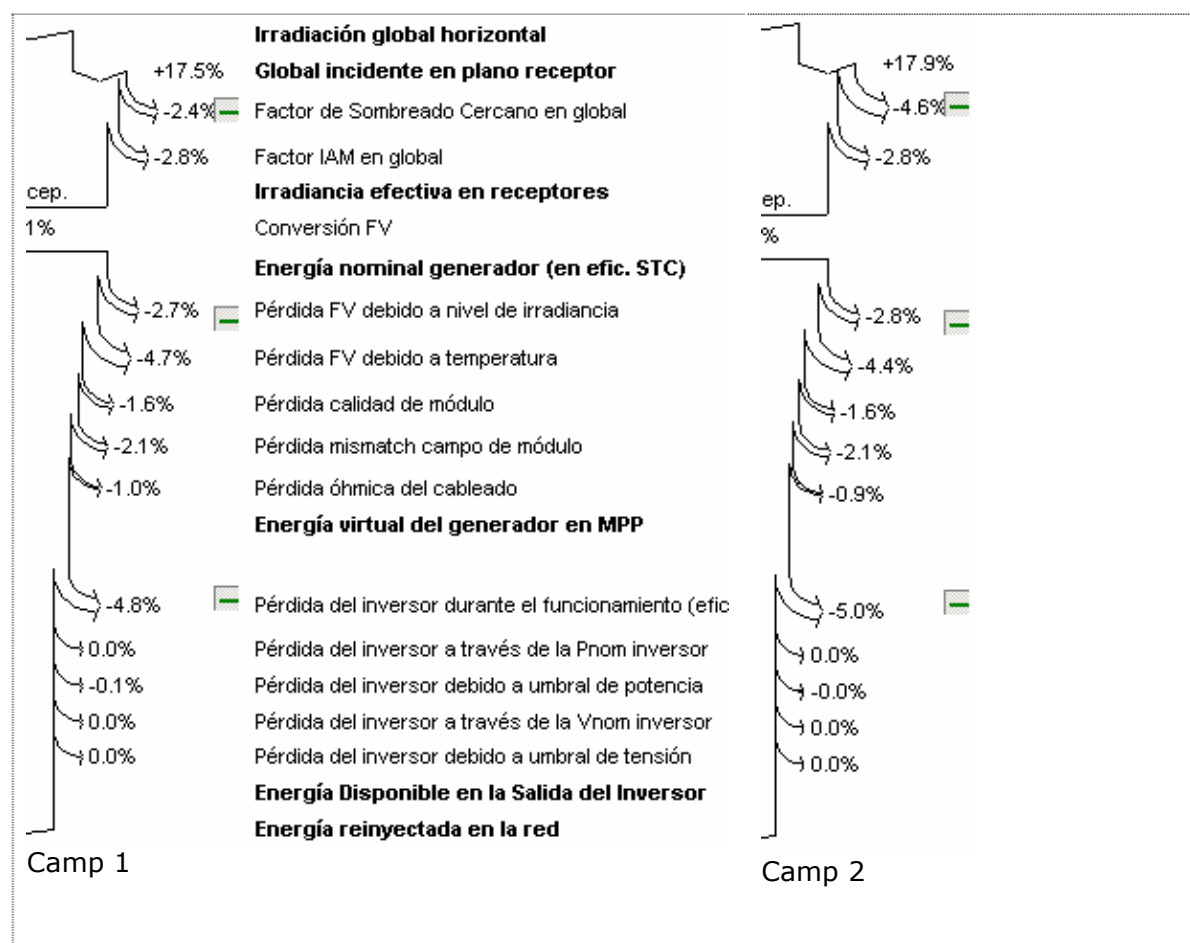


Figura 3. 22: Pèrdues anuals del Camps 1 i 2

El software té uns mètodes de càlcul diferents, i té en compte més factors de pèrdues que els que s'indiquen en aquest apartat.

En resum, el total global en pèrdues es situa entorn al 22 % en el camp 1 i 24% en el camp 2.

Finalment, la producció anual queda reduïda degut a les pèrdues a:

$E_{Elec} = 103.599,5 \text{ kWh/any}$	Camp 1
$E_{Elec} = 92.433,5 \text{ kWh/any}$	Camp 2

Taula 3. 24: Energia elèctrica abocada a xarxa (tenint en compte les pèrdues)

Que són els valors finals de l'energia que s'aboca a la xarxa, tenint en compte les pèrdues pels factors esmentats anteriorment. Sumant l'energia dels dos camps es té un valor:

$$E_{ElecTOTAL} = 196.033 \text{ kWh/any}$$

Finalment es mostren diversos gràfics extrets de la simulació amb PVSyst sobre les pèrdues mensuals de cada camp fotovoltaic en relació amb l'energia produïda i al percentatge de producció normalitzats:

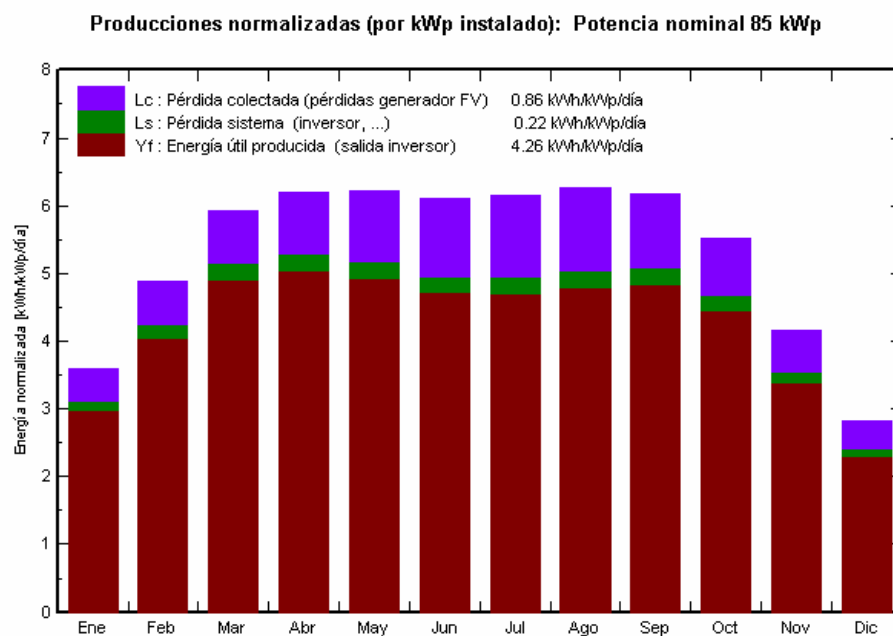


Figura 3. 23: Produccions normalitzades per kWp instal.lat (camp 1)

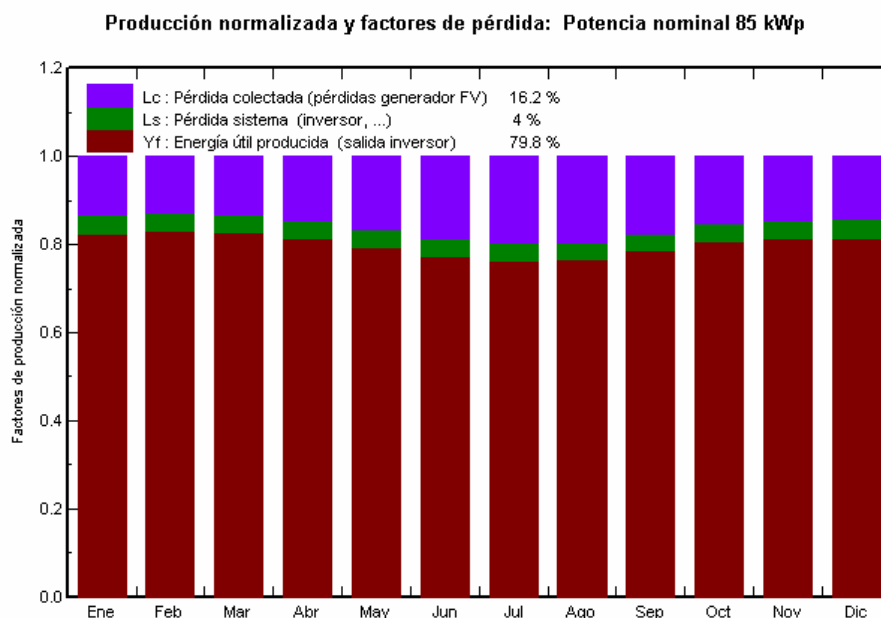


Figura 3. 24: Factors de pèrdua (%) (camp 1)

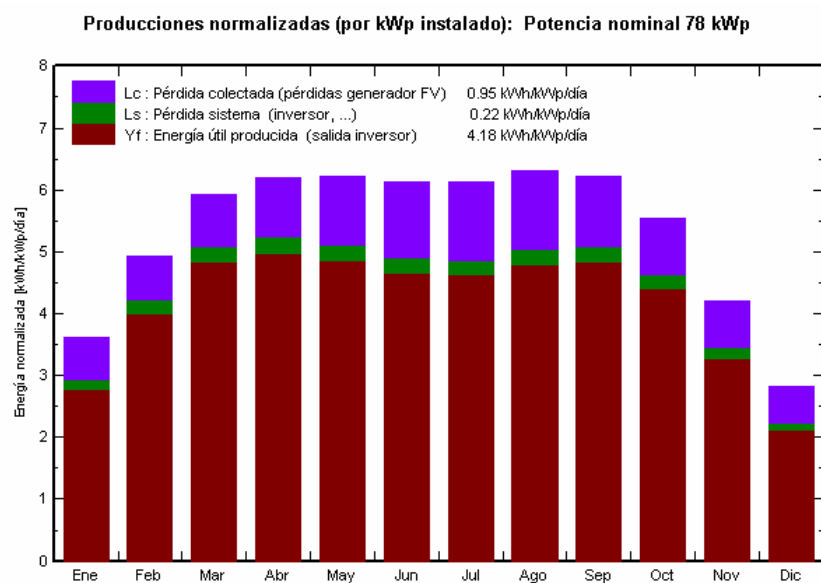


Figura 3. 25: Produccions normalitzades per kWp instal.lat (camp 2)

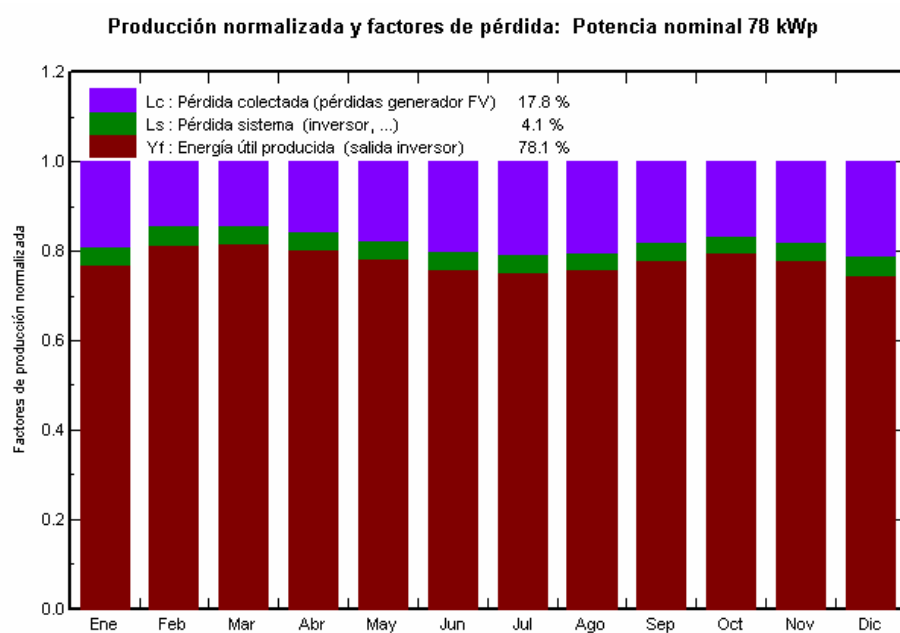


Figura 3. 26: Factors de pèrdua (%) (camp 2)

ANNEX II. ESTUDI ECONÒMIC

ANNEX II. ESTUDI ECONÒMIC. INDEX

1.- INTRODUCCIÓ	106
2.- AVALUACIÓ DE COSTOS.....	107
3.- ANÀLISI ECONÒMIC.....	109
3.1.- VAN.....	110
3.2.- TIR.....	110
3.3.- Payback	111
3.4.- Taules de comptes anuals.....	112
4.- ANÀLISI DE SENSIBILITAT.....	114
4.1.- Variables "Energia Produïda"- "Costos inicials"	114
4.2.- Altres variables	115
5.- Comparativa de la instal·lació de mòduls cristal·lins orientats i la instal·lació amb mòduls thin integrats.....	116
6.- Relació entre subvenció i emissions de CO ₂ evitades.....	118

Figura 1: Gràfic dels beneficis en el període de vida útil	111
Figura 2: Variació del VAN amb les variables "costos inicials" i "energia produïda"	115
Figura 3: Gràfic de beneficis al llarg del període de vida útil, en el cas de la instal·lació amb mòduls thin	117

Taula 1: Dades econòmiques per l'estudi econòmic de la instal·lació	109
Taula 2: Ingressos previstos de la instal·lació	112
Taula 3: Despeses d'explotació previstes de la instal·lació	113
Taula 4: Tresoreria, VAN, TIR i Payback de la instal·lació	113
Taula 5: Variacions de VAN amb les variables "energia produïda" i "costos inicials"	114
Taula 6: Paràmetres econòmics de la instal·lació amb mòduls thin integrats en la coberta	116
Taula 7: Comparativa dels indicadors economic-financers dels dos tipus d'instal·lació.	116
Taula 8: Comparativa de paràmetres importants entre els dos cassos estudiats.....	117

1.- INTRODUCCIÓ

Les instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa, actualment es realitzen amb la finalitat principal d'inversió econòmica, a causa de que s'amortitzen molt més ràpid, i per tant en un termini molt més curt s'obtenen beneficis econòmics, que les instal·lacions aïllades. Els motius són els següents:

- Més subvencions econòmiques (en aquest cas, només el preu de venda de l'energia).
- El benefici i per tant l'amortització són millors que en les instal·lacions aïllades ja que el preu de venda del kWh és molt superior al preu de compra (es considera una subvenció).
- Instal·lacions molt més econòmiques ja que no necessiten reguladors ni bateries.
- Cost del manteniment inferior que les instal·lacions aïllades en estar formada per menys components.

Els sistemes fotovoltaïcs de connexió a la xarxa elèctrica, s'emmarquen dins el *Pla de Foment de les Energies Renovables* elaborat pel govern Espanyol amb l'objectiu de complir els acords signats en el *Protocol de Kyoto*, en el qual es va acordar que el 12% d'energia primària consumida a l'estat Espanyol ha de provenir de fonts renovables, per a reduir d'una manera significativa les emissions de CO₂ a l'atmosfera.

En aquest sentit el govern Espanyol amb la finalitat d'impulsar la implantació de sistemes fotovoltaïcs connectats a la xarxa elèctrica, va establir per mitjà del *Reial Decret 1578/2008* unes primes per cada kWh injectat.

La prestació econòmica rebuda per cada kWh abocat a la xarxa és, conforme a l'especificació del capítol IV del *RD 436/2004*, de:

el 575% de la tarifa mitjana o de referència dels primers 25 anys

el 460% de la tarifa mitjana o de referència després dels 25 anys

Aquesta prima per a plantes iguals o majors de 20 kW nominals durant el tercer trimestre de 2010 segons *RD 1578/2008* és de **0,295200 €/kWh** durant 25 anys¹.

Respecte a la potència nominal de la instal·lació, segons l'article 3 del *R.D. 1578/2008*, les instal·lacions es classifiquen segons la seva ubicació. En aquest cas, la classificació pertany al tipus 1.2 (instal·lacions del tipus 1, amb potència superior als 20 kW), ja que es tracta d'una instal·lació sobre coberta de una nau industrial i cada camp té una potència superior als 20 kW.

Un cop conegut el grup i el tipus al que pertany la instal·lació, es pot conèixer el valor de tarifa regulada corresponent a aquesta instal·lació, que és de 0,2952 €/kWh.

L'*Institut Català de l'Energia*, proporciona subvencions i ajuts per instal·lacions de producció elèctrica renovable, però actualment no hi ha cap subvenció pel tipus d'instal·lació d'aquest projecte.

1 (<http://www.mityc.es/energia/electricidad/RegimenEspecial/Paginas/InstalacionesFotovoltaicas.aspx>)

2.- AVALUACIÓ DE COSTOS

Primerament s'han de conèixer els ingressos produïts per la generació de l'energia elèctrica a partir de la captació de radiació solar dels mòduls solars. Aquests ingressos s'obtenen multiplicant la quantitat d'energia elèctrica injectada a la xarxa de baixa tensió pel preu al que es paga aquesta energia.

Segons la normativa vigent, els valors de la tarifa a la qual es paga l'energia elèctrica produïda mitjançant energies renovables depenen del tipus d'energia primària utilitzada i de la potència de la instal·lació.

L'estudi econòmic de les instal·lacions fotovoltaïques no és diferent del corresponent a qualsevol altre activitat empresarial. Una primera estimació es el cost que tindria el kWh produït (preu kWh) per un sistema fotovoltaic, atenent únicament als costos que suposa la inversió inicial (*costos inversió*) i els costos d'operació i manteniment (*costos op. i man*), prescindint dels paràmetres econòmics tal com els interessos i cost del capital. El preu del kWh produït s'obté a partir de quocient entre els costos anteriorment exposats, comptabilitzats al llarg del temps de vida útil (*anys de vida útil*) assignat a la instal·lació (normalment 20-25 anys) i l'estimació de l'energia anual produïda (*kWh/any*) en kWh, al llarg de la vida útil de la instal·lació.

En el càlcul del preu del kWh, els costos d'inversió es reparteixen entre els anys de vida útil, mentre que els costos operatius i de manteniment són anuals. L'expressió és la següent:

$$\text{Preu kWh} = [\text{costos inversió}] / [\text{kWh/any} \times \text{anys de vida útil}] + [\text{costos op. i man}] / [\text{kWh/any}]$$

En el cas d'instal·lacions connectades a la xarxa l'estudi ha de tenir en compte els ingressos nets obtinguts per la venda de l'energia elèctrica a la companyia elèctrica, considerant la diferència de preus entre l'energia adquirida a la companyia i l'energia venuda a la mateixa, incloent les primes que estiguin establertes.

En aquest cas, aplicant la fórmula anterior, el preu del kWh és de 0,1528 €, essent:

Costos d'inversió	530.135,95 €
Costos d'operació i manteniment	8.750 €
- manteniment preventiu i correctiu	▪ 3.500 €
- monitorització i seguiment	▪ 4.500 €
- assegurança	▪ 750 €
kWh/any	196.033
Anys de vida útil	25

$$\text{Preu kWh} = [\text{costos inversió}] / [\text{kWh/any} \times \text{anys de vida útil}] + [\text{costos op. i man}] / [\text{kWh/any}] = 0,1082 + 0,0446 = 0,1528 \text{ €/kWh}$$

No obstant, repartir el cost de la inversió entre els 25 anys de vida útil no és correcte, ja que el valor temporal dels diners disminueix.

La manera adequada seria considerar una anualitat equivalent ($AnEq$) a la inversió realitzada al llarg de 25 anys, tenint en compte la taxa de descompte (utilitzant 4%, la mateixa que la usada en el VAN):

$$Cost\ Inversió = SUM_{t=0-24} \{[AnEq/(1,04)^t]\} = AnEq + AnEq/(1,04)^1 + \dots + AnEq/(1,04)^{24}$$

Considerant que els 25 anys de la inversió són $t=0$ (any actual), fins a $t=24$. També es podria suposar que els anys oscil·len entre $t=1$ i $t=25$, amb la qual cosa les xifres variarien lleugerament.

Per tant, resulta:

Cost Inversió = 16,2470 x $AnEq$, amb la qual cosa, la anualitat equivalent a la inversió inicial de 530.135,95 €, serà $AnEq = 530.135,95 / 16,2470 = 32.629,77$ €/any

Tenint això en compte, el càlcul correcte del preu del kWh, seria:

$$Preu\ kWh = [AnEq + \text{costos op. i man.}] / [kWh/\text{any}] = (32.629,77 + 8.750)/196.033 = 0,21\ €, \text{ valor superior al calculat anteriorment } (0,1528\ €/kWh).$$

El cost mitjà d'una instal·lació connectada a la xarxa, es pot estimar en 7 €/Wp. Aquest preu baixa a mesura que augmenta la potència de la instal·lació. En el cas del projecte el cost mitjà és de 4,2 €/Wp, i s'obté dividint els costos totals d'inversió entre la potència total instal·lada (76 kW + 68 kW).

3.- ANÀLISI ECONÒMIC

L'estudi econòmic consisteix en comprovar si la instal·lació projectada és suficientment rendible per executar-la. Consisteix en estudiar la rendibilitat de la inversió del projecte. Mitjançant l'anàlisi econòmic s'obtenen les diferents variables per comprovar si és o no una bona inversió, com són: *Valor Actual Net (VAN)*, la *Taxa Interna de Rendibilitat (TIR)*, i el *període de recuperació (Payback)*.

A continuació es presenta una taula amb les dades corresponents per poder fer una simulació d'estudi econòmic i d'anàlisi financer.

Potència de la instal·lació (Wp instal·lats)	144.000
Preu unitari (€uros/Wp)	4,2 €
Pagat per medis propis	20%
Comissió estudi i obertura crèdit	1,00%
Despeses de constitució crèdit (fixos com "escriptura")	1.500
Anys de crèdit	20
Tipus d'interès de sortida (Euribor 1 any + diferencial / mitjana a 25 anys)	3,20%
Producció específica prevista en instal·lació fixa (kWh any /kWp instal·lat)	1.361,34
Pèrdues de producció estimades	1%
Preu de la tarifa regulada (€uros / kWh)	0,2952
Assegurança, IBI, manteniment i altres despeses fixes.	8.750 €
I.P.C. estimat com mitjana de 25 anys.	2,50%
Taxa de descompte (Tipus de productes a llarg termini com "Bonos del Estado" a un termini similar a 25 anys)	4,0%
Impostos, I.R.P.F.	25,0%

Taula 1: Dades econòmiques per l'estudi econòmic de la instal·lació

3.1.- VAN

Si un projecte que requereix una inversió determinada i genera fluxos de caixa positius al llarg del temps, haurà un punt en el que es recuperi la inversió anterior. Si en lloc d'invertir els diners de la inversió en aquest projecte, s'inverteix en un producte financer, també hauria un retorn d'aquesta inversió. Per tant, als fluxos de caixa se'ls retalla una taxa d'interès que es podria haver obtingut, és a dir, actualitzar els ingressos futurs a la data actual. Si a aquest valor se li descompta la inversió inicial, obtenim el *valor actual net del projecte*.

Perquè el projecte sigui rendible, el VAN ha de ser superior a zero, el que significa que es recupera la inversió inicial i s'obté més capital que si hagués estat col·locat en renda fixa.

La fórmula per calcular VAN és la següent:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

On I és la inversió, Q_n , el flux de caixa del any n , r la taxa d'interès amb la qual es compara, i N el nombre d'anys de la inversió.

El VAN calculat per aquesta instal·lació és de 216.181 € (Taula 4).

3.2.- TIR

La taxa interna de retorn, *TIR*, seria el tipus d'interès en el que el VAN és zero. Si el TIR és alt, el projecte empresarial és rendible, i suposa un retorn de la inversió equiparable a uns tipus d'interès alts.

Aquest mètode considera una inversió aconsellable si *TIR* és igual o més gran de la taxa exigida per l'inversor, i entre varies alternatives, la més convenient serà la que ofereixi un *TIR* més alt.

Aquesta taxa presenta un defecte, que és la inconsistència matemàtica, quan en un projecte d'inversió s'han d'efectuar altres desemborsaments, a més de la inversió inicial, durant la seva vida útil, ja siguin deguts a pèrdues del projecte o noves inversions addicionals.

TIR és un indicador de rendibilitat relativa del projecte, per la qual cosa, quan es fa una comparació de taxes de rendibilitat interna de dos projectes no es té en compte la possible diferència en les seves dimensions. Una gran inversió amb una *TIR* baixa pot tenir un VAN superior a un projecte d'inversió petita amb una *TIR* elevada.

La *TIR* calculada per la instal·lació és de 14,2 % (veure Taula 4), que és un valor més elevat que la *taxa de descompte* (4%, Taula 1).

3.3.- Payback

Un objectiu d'aquest estudi de viabilitat econòmica es determinar el període de retorn del capital invertit de la instal·lació solar fotovoltaica. És a dir, el nombre d'anys que hauran de transcórrer des de l'inici de la vida útil del sistema per tal que l'estalvi econòmic generat compensi la inversió inicial.

Els ingressos anuals previstos per la venda d'energia elèctrica de la instal·lació solar fotovoltaica es calculen a partir de:

$$ING = E_{xarxa} \cdot R_t$$

On:

ING : són els ingressos anuals previstos per la venda d'energia elèctrica, en €/any.

E_{xarxa} : és l'energia elèctrica anual injectada a la xarxa, en kWh/any

R_t : és el preu de l'energia solar, en €.

Substituint els valors en l'equació anterior, s'obté que els ingressos anuals previstos per la venda d'energia elèctrica són:

$$ING = 196.033 \text{ kWh} \cdot 0,2952 \text{ €/kWh} = 57.868,94 \text{ €}$$

Per a calcular el *període de retorn (Payback)* s'estudia en quants anys la instal·lació solar fotovoltaica comença a donar beneficis. S'estima una vida útil d'una instal·lació solar fotovoltaica d'uns 25 anys. Els resultats del càlcul del període de retorn i dels beneficis de la instal·lació solar fotovoltaica es mostren a la Figura 1.

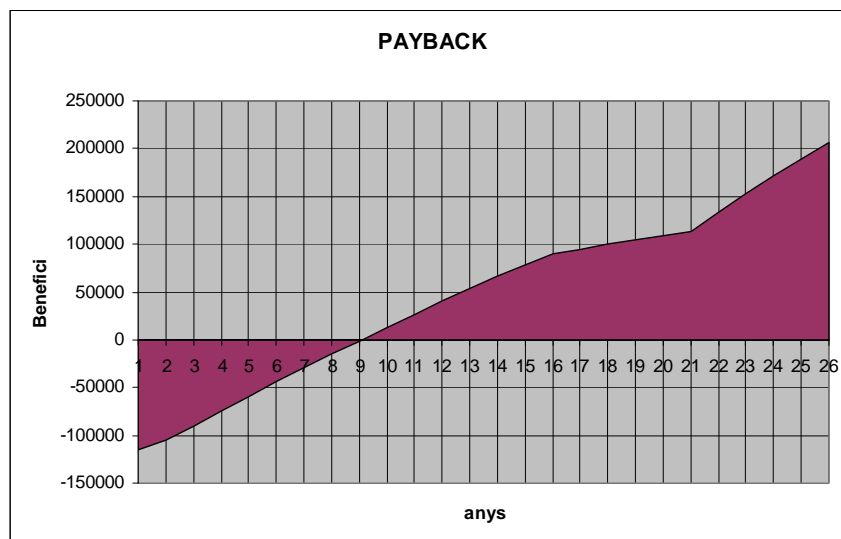


Figura 1: Gràfic dels beneficis en el període de vida útil

Tal i com es pot veure en les Taules , i en la Figura 1, el període de retorn de la instal·lació solar fotovoltaica és de 9 anys. Els valors de les ordenades de la Figura 1, són els valors de la columna de "Payback Retorn inversió" de la Taula 4.

Segons aquests resultats, la instal·lació solar fotovoltaica és rendible.

3.4.- Taules de comptes anuals

Amb les dades inicials de la Taula 1, es confeccionen les següents taules d'ingressos, despeses i tresoreria:

ANY	PÈRDUA ESTIMADA	PÈRDUA ACUMULADA	PRODUCCIÓ ESTIMADA	PREU kWh	INGRESSOS
	%	%	Kwh	€	€
2011				0,295200	0
2012			196.033	0,301842	59.171
2013	1	-1	194.073	0,307879	59.751
2014	1	-2	192.112	0,314036	60.330
2015	1	-3	190.152	0,320317	60.909
2016	1	-4	188.192	0,326723	61.487
2017	1	-5	186.231	0,333258	62.063
2018	1	-6	184.271	0,339923	62.638
2019	1	-7	182.311	0,346722	63.211
2020	1	-8	180.350	0,353656	63.782
2021	1	-9	178.390	0,360729	64.351
2022	1	-10	176.430	0,367944	64.916
2023	1	-11	174.469	0,375303	65.479
2024	1	-12	172.509	0,382809	66.038
2025	1	-13	170.549	0,390465	66.593
2026	1	-14	168.588	0,398274	67.144
2027	1	-15	166.628	0,406240	67.691
2028	1	-16	164.668	0,414364	68.232
2029	1	-17	162.707	0,422652	68.769
2030	1	-18	160.747	0,431105	69.299
2031	1	-19	158.787	0,439727	69.823
2032	1	-20	156.826	0,448521	70.340
2033	1	-21	154.866	0,457492	70.850
2034	1	-22	152.906	0,466642	71.352
2035	1	-23	150.945	0,475974	71.846
2036	1	-24	148.985	0,485494	72.331
		TOTALS	4,312.728		1,648.397

Taula 2: Ingressos previstos de la instal·lació

DESPESES D' EXPLOTACIÓ								
any		AMORTITZACIÓ ANUAL PRÉSTEC	INTERESSOS	DESPESES OBERTURA CRÈDIT	ESCRITURA CRÈDIT	DESPESES VARIABLES	DESPESES DE REPRESENTACIÓ	TOTAL DESPESES
		€	€	€	€	€	€	€
0	2011		0	0	0			0
1	2012	17.643	15.483	4.869	1.500	8.750	298	30.998
2	2013	18.208	14.918			8.969	295	24.276
3	2014	18.790	14.336			9.193	292	23.911
4	2015	19.392	13.734			9.423	289	23.533
5	2016	20.012	13.114			9.658	286	23.141
6	2017	20.653	12.473			9.900	283	22.735
7	2018	21.313	11.813			10.147	280	22.315
8	2019	21.995	11.131			10.401	278	21.879
9	2020	22.699	10.427			10.661	275	21.428
10	2021	23.426	9.700			10.928	272	20.960
11	2022	24.175	8.951			11.201	269	20.476
12	2023	24.949	8.177			11.481	266	19.975
13	2024	25.747	7.379			11.768	263	19.456
14	2025	26.571	6.555			12.062	260	18.918
15	2026	27.421	5.705			12.364	257	18.361
16	2027	28.299	4.827			12.673	254	17.784
17	2028	29.205	3.921			12.989	251	17.186
18	2029	30.139	2.987			13.314	248	16.568
19	2030	31.103	2.022			13.647	245	15.927
20	2031	32.099	1.027			13.988	242	15.264
21	2032	0	0			14.338	239	14.577
22	2033	0	0			14.696	236	14.932
23	2034	0	0			15.064	233	15.297
24	2035	0	0			15.440	230	15.670
25	2036	0	0			15.826	227	16.053
TOTALS		483.840	178.679	4.869	1.500	298.880	6.565	491.619

Taula 3: Despeses d'exploració previstes de la instal·lació

DESPESES EXPLOTACIÓ	IMPOSTOS	TOTAL SORTIDES	TOTAL ENTRADES	CASH FLOW TRESORERIA	CASH FLOW ACTUALITZAT	PAYBACK RETORN INVERSIÓ
€	€	€	€	€	€	€
-	-	-	-	- 120.960	- 120.960	- 120.960
15.515	-	48.641	59.171	10.530	10.188	- 110.772
9.358	-	42.484	59.751	17.267	16.163	- 94.610
9.575	-	42.701	60.330	17.629	15.965	- 78.644
9.799	-	42.925	60.909	17.984	15.757	- 62.887
10.027	-	43.153	61.487	18.334	15.541	- 47.346
10.262	-	43.388	62.063	18.676	15.316	- 32.029
10.502	-	43.628	62.638	19.010	15.084	- 16.946
10.748	-	43.874	63.211	19.337	14.844	- 2.101
11.001	-	44.127	63.782	19.655	14.598	12.497
11.260	-	44.386	64.351	19.965	14.346	26.843
11.525	-	44.651	64.916	20.265	14.089	40.932
11.798	-	44.924	65.479	20.555	13.826	54.757
12.077	-	45.203	66.038	20.835	13.558	68.316
12.363	559	46.049	66.593	20.545	12.935	81.250
12.656	2.116	47.898	67.144	19.246	11.723	92.974
12.957	12.477	58.560	67.691	9.131	5.381	98.355
13.265	12.762	59.152	68.232	9.080	5.177	103.533
13.581	13.050	59.757	68.769	9.011	4.971	108.504
13.905	13.343	60.373	69.299	8.925	4.764	113.267
14.237	13.640	61.003	69.823	8.820	4.554	117.822
14.577	13.941	61.620	70.340	8.715	4.343	122.377
14.932	13.979	62.251	70.850	8.609	4.132	126.932
15.297	14.014	62.886	71.352	8.503	3.921	131.487
15.670	14.044	63.516	71.846	8.397	3.710	136.042
16.053	14.070	64.151	72.331	8.291	3.500	140.597
312.941	137.994	1.113.454	1.648.397	413.983	216.181	
V.A.N.						216.181 €
T.I.R. (a 25 anys)						14,19%
RETORN (anys)						9

Taula 4: Tresoreria, VAN, TIR i Payback de la instal·lació

4.- ANÀLISI DE SENSIBILITAT

L'anàlisi de sensibilitat és un terme financer per prendre decisions d'inversió, que consisteix en calcular els nous fluxos de caixa i el VAN del projecte, en canviar una variable (per exemple, la inversió inicial, el període de vida útil, els ingressos, la taxa de creixement dels ingressos, les despeses, etc.). D'aquesta manera, tenint els nous fluxos de caixa i el nou VAN es pot calcular o millorar l'estimació sobre el projecte, en el cas de que aquestes variables canviessin o existissin errors inicials en les dades obtingudes en principi.

Per realitzar l'anàlisi de sensibilitat s'ha de comparar el VAN antic amb el VAN nou, i el resultat multiplicat per cent serà el percentatge de canvi:

$$[(VAN_n - VAN_e) / VAN_e] \times 100$$

On VAN_n és el nou VAN obtingut i VAN_e és el VAN obtingut abans de realitzar un canvi en la variable.

Les variables a estudiar més interessants són les variacions d'energia produïda i el costos inicials; també el percentatge de préstec demanat i la taxa de descompte.

4.1.- Variables "Energia Produïda"-"Costos inicials"

La Taula 5 i la Figura 2 mostren com varia el VAN del projecte si es modifiquen les variables de "costos inicials" i "energia produïda". Els *costos inicials* podrien augmentar si hi ha algun error en l'estimació inicial del pressupost del projecte o si sorgeixen imprevistos no contemplats inicialment, mentre que l'energia produïda podria disminuir si el funcionament de la instal·lació no és correcte o no es fa el manteniment apropiat.

Variació energia produïda	kWh/any	Variació costos inicials €			
		-10%	0%	10%	20%
		548.690,67	609.656,3	670.621,93	731.587,56
-20%	156.826,96	-63,93% (77.972 €)	-81,62% (39.722 €)	-99,5% (1.071 €)	-117,33% (-37.473 €)
-10%	176.430,3	-23,88% (164.550 €)	-41,22% (127.064 €)	-58,56% (89.581 €)	-74,40% (55.332 €)
0%	196.033,7	15,22% (249.134 €)	0% (216.181 € = VAN_e)	-18,44% (176.323 €)	-35,84% (138.692 €)
10%	215.637,1	53,09% (330.961 €)	37,12% (296.432 €)	21,05% (261.732 €)	4,06% (224.962 €)
		% de canvi (VAN _n)			

Taula 5: Variacions de VAN amb les variables "energia produïda" i "costos inicials"

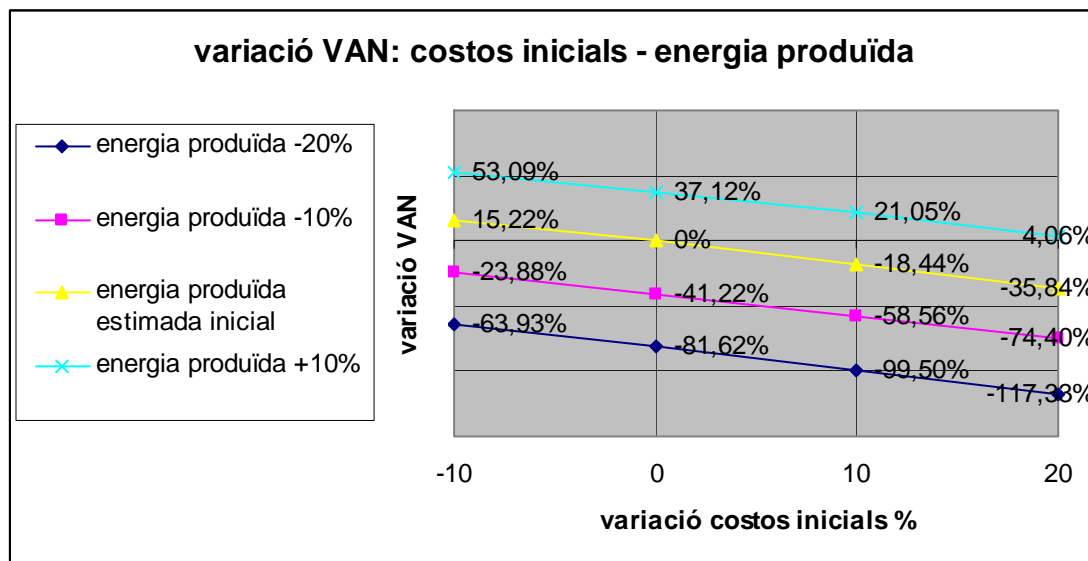


Figura 2: Variació del VAN amb les variables "costos inicials" i "energia produïda"

Com es pot observar en la Figura 2, les variacions del VAN segueixen un patró lineal, i com és lògic, el VAN disminueix quan augmenta el *cost inicial* o disminueix l'*energia produïda*.

El cas més desfavorable, com és d'esperar, es produeix quan els *costos inicials* són incrementats en un 20 % i l'*energia produïda* disminueix en un 20 %, resultant un valor de VAN negatiu, i per tant, essent el projecte inviable. Aquesta situació es podria produir si els càlculs de producció d'energia del projecte i el pressupost no estiguessin ben ajustats.

4.2.- Altres variables

Altra variables que es pot estudiar, és la "taxa de descompte", però no afecta significativament el valor del VAN. S'hauria d'arribar a més de 14% (on VAN = 0) perquè el VAN fos negatiu, que es un valor poc probable.

Si el percentatge demanat del préstec fos del 100% del cost del projecte (enlloc del 20% del model inicial), el VAN tindria un valor de 22.328 € i el període de retorn serien 24 anys. Si el percentatge fos del 50%, el VAN tindria un valor de 147.938 € i un període de retorn de 15 anys.

Davant d'aquestes dades, cal dir que s'ha de disposar de medis propis perquè el projecte doni beneficis en pocs anys.

Segons el Real Decreto 1578/2008 de 25 de setembre, la tarifa regulada que sigui d'aplicació a una instal·lació, es mantindrà durant un termini màxim de 25 anys a comptar des de la data més tardana de les dues següents: la data de posada en marxa o la d'inscripció en el Registre de preassignació de retribució.

Com que el preu de venda serà l'estipulat durant 25 anys, aquesta variable *preu de venda de l'energia*, no es té en compte en l'anàlisi de sensibilitat.

5.- COMPARATIVA DE LA INSTAL·LACIÓ DE MÒDULS CRISTAL·LINS ORIENTATS I LA INSTAL·LACIÓ AMB MÒDULS THIN INTEGRATS

A continuació, a la Taula 5, es presenten els valors de les característiques d'una instal·lació amb mòduls integrats de silici amorf (*thin*). Només es mostren els paràmetres que varien respecte la Taula 1, per calcular *VAN*, *TIR* i *Payback*.

DADES DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA amb mòduls THIN	
Potència de la instal·lació (Wp instal·lats)	120.000 W
Preu unitari (€uros/Wp)	4,5 €
Producció específica prevista en instal·lació fixa (kWh any /kWp instal·lat)	1.201

Taula 6: Paràmetres econòmics de la instal·lació amb mòduls *thin* integrats en la coberta

A partir de les dades de les Taules 4 i 5 es calculen de manera similar els indicadors per l'estudi econòmic de la instal·lació amb mòduls *thin* integrats. La taula 6 compara els resultats entre les dues opcions del projecte, essent clarament més beneficiosa l'opció del projecte d'instal·lació de mòduls cristal·lins orientats.

	INSTAL·LACIÓ MÒDULS INTEGRATS THIN	INSTAL·LACIÓ MÒDULS CRISTAL·LINS ORIENTATS
V.A.N.	41.148 €	216.181 €
T.I.R. (a 25 anys)	5,55%	14,19%
RETORN (anys)	22	9

Taula 7: Comparativa dels indicadors economic-financers dels dos tipus d'instal·lació

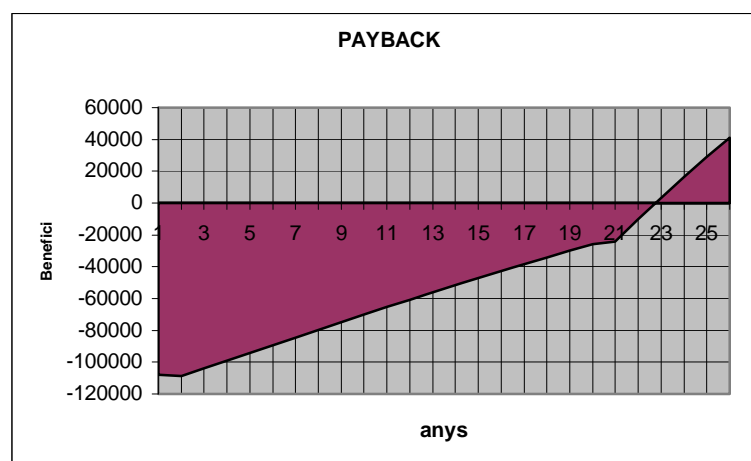


Figura 3: Gràfic de beneficis al llarg del període de vida útil, en el cas de la instal·lació amb mòduls *thin*

Finalment es mostra la Taula 7 per comparar alguns dels paràmetres importants en les dues instal·lacions estudiades:

	A- Instal·lació Mòduls <i>thin</i>		B- Instal·lació mòduls cristal·lins	
E _{xarxa}	144.090 kWh/any		196.033,7 kWh/any	
Mòduls	840 unitats (PVL144)	316.680,0 €	690 unitats + suports (HEE215MA65-235)	367.483,7 €
Inversors	2 x 60 kW	60.000,0 €	76 i 68 kW	64.089,6 €
Pèrdues instal·lació	20,1%		23 %	
Pressupost total (sense IVA)	544.891,53 €		609.656,3 €	
Ingressos	42.535,36 €/any		57.868,9 €/any	
Preu unitari €/Wp	4,5		4,2	
Producció	1.201 kWh any / kWp instal·lat		1.361,34 kWh any / kWp instal·lat	
Preu kWh	0,26 €		0,21 €	

Taula 8: Comparativa de paràmetres importants entre els dos cassos estudiats

En resum, es pot dir que la opció de mòduls de silici monocristal·lí orientats, és millor i que és rendible, sempre que els valors numèrics del model siguin els inicials. Variacions conjuntes com la disminució en la producció de l'energia o augments elevats en els costos del projecte podrien fer el projecte no viable. I demanar una gran part dels costos en préstec suposa un temps de retorn del deute massa elevat.

6.- RELACIÓ ENTRE SUBVENCIÓ I EMISSIONS DE CO₂ EVITADES

La normativa comunitària, permet lliurement intercanviar *Drets d'Emissió i Crèdits de carboni*. El CO₂ té un preu en el mercat de referència en la Borsa Europea de Drets d'Emissió de Diòxid de Carboni i Crèdits.

La subvenció rebuda (diferència entre el preu de venda i el preu de l'energia) i la reducció d'emissions es poden relacionar entre sí, mitjançant el preu del CO₂.

Si el preu de venda d'energia a la companyia elèctrica és de 0,2952 €/kWh, i la tarifa normal (compra) és de 0,05134 €/kWh, la diferència és la subvenció rebuda:
0,2438 €/kWh

Si la instal·lació produeix 196.033,7 kWh/any:

$196.033,7 \text{ kWh/any} \times 0,2438 \text{ €/kWh} = 47.804,78 \text{ €/any de subvenció.}$

Considerant el preu de la tona de CO₂ en 13,08 € (www.sendeco2.com) i multiplicant per les emissions anuals evitades (ANNEX III):

$13,08 \text{ €/Tm} \times 117,6 \text{ Tm/any} = 1.538,21 \text{ €/any}$

Si dividim la subvenció entre les emissions anuals evitades, obtenim:

$47.804,78 / 117,6 = 406,50 \text{ € / t CO}_2$, com a estimador del preu de la tona de CO₂ implícit de la política d'ajuts.

Si es comparen els valors de la subvenció i la compra de *drets emissió* que permetrien produir aquestes tones de CO₂, la diferència és molt gran. Des del punt de vista de l'eficàcia de la política d'ajuts sembla inviable. Encara que la rendibilitat privada d'aquest tipus de projectes semblava adient fa uns pocs anys, les perspectives avui dia no són tan bones, donat el debat actual sobre els beneficis socials que justifiquen ajudes tan elevades. El dubte està en si l'estat actual de l'economia permetrà mantenir aquestes subvencions.

ANNEX III. EMISSIONS DE GASOS
EVITADES

ANNEX III: EMISSIONS DE GASOS EVITADES. INDEX

1.- EMISSIONS DE GASOS EVITADES.....	121
--------------------------------------	-----

Taula 1: Emissions de gasos evitades amb la instal·lació fotovoltaica del projecte.....	121
---	-----

1.- EMISSIONS DE GASOS EVITADES

La creixent preocupació per les conseqüències ambientals, socials i econòmiques del canvi climàtic, i els compromisos dels acords del Protocol de Kyoto, i el fet que la producció i consum d'energia són els principals responsables de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, situen al sector energètic com a clau pel desenvolupament de les energies renovables i la seva eficiència.

Dels sis grups de gasos d'efecte hivernacle contemplats en el Protocol de Kyoto, el CO₂ representa les tres quartes parts del total, i més del 90% d'aquest gas és d'origen energètic. Per aquesta raó són de gran importància les polítiques capaces de limitar les emissions de CO₂ per qualsevol estratègia de limitació de gasos d'efecte hivernacle.

Per alguns problemes mediambientals hi ha tractaments de final de procés relativament ràpids que es poden reduir amb la tecnologia actual, com és el cas de les emissions de SO₂ o l'eliminació de plom en els carburants, però no passa el mateix amb el CO₂, ja que aquestes emissions relacionades amb l'ús de combustibles fòssils no tenen encara cap tecnologia viable capaç d'absorbir-les.

Per aquesta raó, l'única manera d'evitar emissions de CO₂ és a través de la modificació d'estructures, processos, equips i comportaments relacionats amb la utilització de l'energia. La llarga vida útil de les inversions en el sector energètic fa que les estratègies relatives al CO₂ tinguin uns terminis d'aplicació molt més llargs que en altres problemes ambientals. És aquí on la planificació del desenvolupament a llarg termini de les energies renovables juguen un paper decisiu.

Tenint en consideració les informacions publicades per l' *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (I.D.A.E)*, la reducció d'emissions contaminants per cada kWh produït per energia solar és de 0,60 kg CO₂/kWh, 1,33 g SO₂/kWh i 1,67 g NO₂/kWh.

La instal·lació fotovoltaica del projecte permet estalviar les següents quantitats anuals d'emissions:

▼ Producció	Emissions evitades		
	Tm CO ₂ /any	kg SO ₂ /any	kg NO ₂ /any
196.033 kWh/any	117,6	260,7	327,37

Taula 1: Emissions de gasos evitades amb la instal·lació fotovoltaica del projecte

Com es pot observar, una gran quantitat de CO₂ es pot evitar amb aquesta instal·lació fotovoltaica, i també d'altres compostos contaminants responsables també de l'efecte hivernacle, i d'altres fenòmens negatius com la pluja àcida i l'"smog".

ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT

ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT. INDEX

1.- MEMÒRIA	124
1.1.- INTRODUCCIÓ	124
1.2.- OBJECTE	124
1.3.- DADES DE L'OBRA.....	124
1.4.- DESCRIPCIÓ DE L'OBRA	125
2.- ESTUDI DE RISCOS.....	125
2.1.- RISCOS GENERALS	125
2.2.- SENYALITZACIÓ PRÈVIA	127
2.3.- INSTAL·LACIÓ CONTRA INCENDIS	127
2.4.- FASES DE L'EXECUCIÓ DE L'OBRA	128
A) Muntatge de la bastida	128
B) Muntatge dels mòduls fotovoltaics en la coberta	129
C) Instal·lació i connexió dels components elèctrics de la instal·lació.....	131
3.- OBLIGACIONS DEL PROMOTOR	132
4.- COORDINADORS EN MATÈRIA DE SEGURETAT I SALUT	133
5.- PLA DE SEGURETAT I SALUT EN EL TREBALL	133
6.- OBLIGACIONS DELS CONTRACTISTES I SUBCONTRACTISTES	134
7.- OBLIGACIONS DELS TREBALLADORS.....	135
8.- LLIBRE D'INCIDÈNCIES.....	135
9.- PARALITZACIÓ DELS TREBALLS	136
10.- DRETS DELS TREBALLADORS.....	136
11.- PLEC DE CONDICIONS PARTICULARS	136
12.- GRÀFICS I ESQUEMES	138
13.- MEDICIONS I PRESSUPOST	140

Figura 1: Cartell de senyalització en obra.....	138
Figura 2: Medis contra incendis existents en la nau agroindustrial	139
Figura 3: Muntatge bastida	139

1.- MEMÒRIA

1.1.- INTRODUCCIÓ

L'obra descrita en aquest projecte figura en l'Annex I del *Reial Decret 1627/1997*, del 24 d'octubre, del Ministeri de Presidència, pel que s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut en les obres de construcció.

L'estudi de Seguretat i Salut és obligatori per poder obtenir el permís d'obra per part de les autoritats pertinents de la instal·lació elèctrica fotovoltaica. Es té en compte que la instal·lació treballa a baixa tensió per la qual cosa els treballs realitzats seran adequats per aquests valors de voltatge.

En treballar amb energia elèctrica esposarà especial atenció a la seguretat de la instal·lació, connectant tots els equips metàl·lics a un conductor de protecció a terra que compleix amb la normativa específica.

En el present document s'han establert les característiques, factors i aspectes tècnics que permeten realitzar l'execució de l'obra d'una instal·lació solar fotovoltaica de 144 kW connectada a xarxa elèctrica de baixa tensió. Aquesta instal·lació s'ajusta a les disposicions legals actuals en matèria de producció elèctrica en règim especial segons *RD 1663/2000* del 29 de setembre, pel que es podrà injectar l'energia elèctrica produïda a la xarxa elèctrica pública i facturar dita producció a la Companyia elèctrica al preu que marca la legislació vigent.

1.2.- OBJECTE

L'estudi té per objecte precisar les normes de seguretat i salut aplicables en l'obra i en tot allò referent al compliment de la *Llei 31/1995* del 8 de novembre. Igualment s'especifica que a tal efecte ha de contemplar:

- La identificació dels riscos laborals generats per l'obra, indicant les mesures tècniques necessàries per evitar-los.
- Drets i obligacions de les persones implicades directament en l'obra durant tot el procés d'execució de la instal·lació.

1.3.- DADES DE L'OBRA

- Tipus de l'obra: Execució d'una instal·lació solar fotovoltaica en la coberta d'una nau agroindustrial connectada a xarxa
- Situació: Polígon Industrial Les Canals
- Població: Lleida
- Tècnic projectista: Juan Fco. Juárez García

1.4.- DESCRIPCIÓ DE L'OBRA

La instal·lació que s'ha projectat consisteix en i l'execució de la instal·lació solar fotovoltaica de 142 kW, sobre una coberta, amb una tensió nominal a la xarxa elèctrica de 400 V.

El procés d'execució de la instal·lació i els corresponents llocs de treball de l'obra, estaran lligats a:

- Condicionament de les instal·lacions provisionals per l'execució de l'obra.
- Muntatge de la bastida i equips complementaris.
- Muntatge de les mòduls solars fotovoltaics a la coberta.
- Instal·lació i connexió dels components elèctrics (cablejat, inversors, etc.).

2.- ESTUDI DE RISCOS

Les activitats laborals que es descriuen en aquest projecte figuren en l'article 1, apartat 2.b, (obra de construcció temporal o mòbil) del *Reial Decret 486/1997* del 14 d'abril, pel que s'estableix les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de treball, per la qual cosa el mencionat Reial Decret no serà d'aplicació en el present estudi bàsic de seguretat i salut.

2.1.- RISCOS GENERALS

Els riscos generals són aquells que es poden produir en qualsevol de les activitats d'execució i poden afectar a qualsevol persona.

Els riscos previstos són:

Caiguda d'objectes o components de la instal·lació sobre persones	Ferides per objectes punxants o tallants
Caiguda de persones al mateix i a diferent nivell	Cops contra objectes
Projeccions de partícules	Cremades per contactes tèrmics
Conjuntivitis provocada per l'arc de soldadura	Exposició a descàrregues elèctriques
Ferides i cremades en mans o peus	Atropellaments o cops per vehicles en moviment
Sobreesforços musculars	Pols
Cops i talls per l'ús d'eines	Soroll
Ús d'equips inadequats o deteriorats	Descàrregues elèctriques

Taula 1: Llistat de riscos generals

☑ Mesures preventives generals:

- Es mantindrà net i ordenat el lloc de treball.
- En tot moment es disposarà de calçat homologat de classe I.
- Si es fan servir escales de mà, aquestes hauran de ser del tipus "tisora" amb cadenes antiobertura i estar homologades.
- Tots els conductors elèctrics utilitzats, així com les seves corresponents connexions, hauran d'estar correctament aïllades segons REBT.
- Manteniment periòdic de la instal·lació, amb revisió de l'estat de les mangueres, pressa de terres, endolls, etc.
- Qualsevol part de la instal·lació es considera baixa tensió, mentre no es comprovi el contrari amb aparells destinats a tal efecte.
- En cas de la necessitat de manipulacions elèctriques amb tensió en la instal·lació provisional d'obra, s'haurà de fer amb guants de protecció elèctrica classe I i proteccions oculars classe D.
- Totes les eines manuals utilitzades estaran homologades i hauran d'estar en perfecte estat.
- El quadre de distribució provisional de l'obra haurà de disposar dels elements necessaris de protecció (interruptor diferencial de màxima sensibilitat, interruptors magnetotèrmics correctament dimensionats, etc.), així mateix tots els elements elèctrics que es disposin seran de protecció IP557.
- Una vegada instal·lat el quadre provisional d'obra, s'haurà de comprovar que els elements de protecció elèctrics funcionen correctament.
- Tots els circuits de la instal·lació provisional d'obra hauran d'estar correctament aïllats de manera que no sigui possible accedir de manera simultània en condicions normals de treball, a les parts actives i les masses de la instal·lació.
- Els trams aeris seran tensats amb peces especials entre suports. Si els conductors no poden suportar la tensió mecànica prevista, s'utilitzaran cables fiadors amb una resistència de ruptura de 800 Kg fixant a aquests conductors amb abraçadores.
- Els conductors si van pel terra, no es trepitjaran ni es col·locaran materials sobre ells, protegint-los adequadament al travessar sones de pas.
- Els aparells portàtils estaran convenientment aïllats i seran estancs a l'aigua.
- Les derivacions de connexió a màquines es realitzaran amb terminals a pressió, disposant les mateixes de control de marxa i parada. No estaran sotmeses a tracció mecànica que origini la seva ruptura.
- Les mangueres deteriorades es substituiran de immediat.
- Es senyalitzaran els llocs on estiguin instal·lats els equips elèctrics.
- Es donaran instruccions sobre mesures a adoptar en cas d'incendi o accident elèctric.
- Existirà senyalització clara i senzilla, prohibint l'accés de persones a els llocs on estiguin instal·lats els equips elèctrics, així com el maneig d'aparells elèctrics a persones no designades per a ell.

© **Equips de protecció individual:**

- Casc homologat de seguretat dialèctic tipus N.
- Guants aïllants i botes classe I.
- Protectors oculars classe D.
- Eines manuals homologades amb aïllament homologats; amb aïllament elèctric.

2.2.- SENYALITZACIÓ PRÈVIA

Prèviament a la inicialització dels treballs en l'obra, per informació dels propis treballadors de l'obra, es condicionen i protegeixen els accessos, senyalitzant convenientment els mateixos i protegint el contorn inclosos els diferents llocs de treball d'actuació, amb senyalitzacions del tipus:

- Obligatori dur casc de protecció.
- Protecció obligatòria dels peus.
- Prohibit fumar i flames nues en zones d'emmagatzematge de combustibles.
- Risc elèctric.
- Protecció obligatòria contra caigudes d'altura.
- Caiguda d'objectes.
- Prohibit el pas a tota persona aliena a l'obra en el recinte de la instal·lació.

2.3.- INSTAL·LACIÓ CONTRA INCENDIS

Es disposa aquest apartat de l'estudi de seguretat i salut, en previsió dels riscos d'incendi ocasionats per l'execució del corresponent projecte en diferents zones de la nau (coberta, magatzem, etc). La nau disposa d'hidrants i boques d'incendi equipades (BIE) (veure esquema en apartat 12 "Gràfics i esquemes").

Segons la norma *UNE-230/0*, i d'acord amb la naturalesa combustible, els focs es classifiquen amb les següents classes:

- Classe A.

Denominats també secs, el material combustible són matèries sòlides inflamables com la fusta, el paper, etc., a excepció dels metalls. L'extinció d'aquests focs s'aconsegueix per l'efecte refrescant de l'aigua o de solucions que continguin un gran percentatge d'aigua.

- Classe B.

Són focs de líquids inflamables i combustibles, sòlids o líquids.

Els materials combustibles més freqüents són: gasolina, asfalt, quitrà, dissolvents, resines, pintures, vernissos, etc. L'extinció d'aquests focs s'aconsegueix per aïllament del combustible de l'aire ambient, o per sofocament.

- Classe C.

Són focs de substàncies que en condicions normals passen a l'estat gasos, com metà, butà, acetilè, hidrogen, propà, gas natural. La seva extinció s'aconsegueix eliminant l'arribada del gas.

- Classe D.

Són aquells en els que es consumeix metalls lleugers, inflamables i compostos químics reactius, com magnesi, alumini en pols, llimadures de titani, potassi, sodi, liti, etc.

Per controlar i extingir els focs d'aquesta classe, es precis utilitzar agents extintors especials, en general no s'usaran cap agent exterior utilitzat per combatre focs de la classe A, B, C, ja que existeix el perill d'augmentar la intensitat del foc a causa de una reacció química entre algun dels agents extintors i el metall que s'està cremant.

☒ Identificació dels riscos:

- Incendi dels materials combustibles.
- Treballs de soldadura.
- Treballs amb flama oberta.
- Instal·lacions provisionals d'energia.
- Cigarretes i llumins mal apagats.

☒ Mesures preventives:

- Instruccions detallades al personal de les normes d'evacuació en cas de incendi.
- Es disposarà de medis d'extinció, basant-se en extintors portàtils homologats i convenientment revisats.
- Prohibició de fumar en les proximitats de líquids inflamables i materials combustibles. No col·locar fonts d'ignició pròximes a l'emmagatzematge del material. Retirar el material combustible de les zones pròximes als treballs de soldadura.

2.4.- FASES DE L'EXECUCIÓ DE L'OBRA

A) Muntatge de la bastida

Es tracta de realitzar l'acondicionament i instal·lació de la bastida, necessària per realitzar la instal·lació. S'instal·larà una bastida de tipus vertical metàl·lica, amb una altura màxima de 9 metres recolzada a la fatxada de l'edifici i que s'usarà per accedir a la coberta i pujar materials.

Seguidament es descriuen els riscos derivats del procés de instal·lació de la bastida.

☒ Identificació dels riscos:

- Cops contra objectes immòbils de la fatxada de l'edifici.
- Caigudes de persones a diferent nivell.
- Enganxada de mans i dits durant el muntatge de la bastida.
- Cops, punxades i talls ocasionats per les pròpies eines manuals.
- Caiguda d'objectes a diferent nivell.
- Caiguda de la bastida total o parcial.
- Sobre esforços dors-lumbar.

☒ Mesures preventives:

- Els operaris que realitzen aquests treballs hauran de portar cinturons portaeines i a més dels corresponents equips de protecció individual.
- Tots els operaris que treballin en la coberta portaran cinturons de seguretat amarrats a dispositius anticaiguda.
- Utilització d'eines adequades i homologades per cada tipus d'operació.
- La bastida serà fixa i s'assegurarà amb fixacions suficientment rígides.
- El pis de la bastida estarà constituït per taulons de 7,5 cm de gruix.
- L'amplada mínima de la plataforma de treball serà de 0,60 m.
- La separació entre cavallets no superarà els 3,5 m.

- Els taulons del pis hauran d'estar units entre si evitant la existència de forats.
- No haurà d'haver-hi objectes que molestin el trànsit al llarg de la bastida.
- En tot moment es mantindrà l'ordre i la neteja als voltants de la bastida.
- Es verificarà la no existència de línies elèctriques properes a la bastida. En cas d'existir esmentades línies, es procedirà a aïllar els conductors elèctrics mitjançant personal autoritzat de l'empresa de subministres elèctrics.

© Equips de protecció individual:

- Casc homologat tipus N, en tot moment.
- Botes de seguretat homologades classe I.
- Guants de cuir homologats per proteccions mecàniques.
- Cinturó de seguretat classe A tipus 2.
- Faixa de protecció dors lumbar.

B) Muntatge dels mòduls fotovoltaics en la coberta

El procediment en la instal·lació fotovoltaica consistirà en col·locar 690 mòduls solars fotovoltaics de 22-24 Kg a la coberta, col·locats amb una inclinació de 30° i mirant cap el sud.

La col·locació es realitza per operaris situats dalt de la bastida i sobre la coberta, els quals hauran de fixar l'estructura suport dels mòduls solars a la coberta de la nau abans de procedir a la col·locació dels mateixos. El material per executar aquesta operació de muntatge es facilitarà des del terra mitjançant sistemes d'elevació de càrregues amb l'ajuda d'un sistema de torn o similar.

Es possible que sigui necessari condicionar l'estructura suport metàl·lic dels mòduls, mitjançant processos de tall i de soldadura elèctrica.

☒ **Identificació de riscos:**

- Cops contra objectes immòbils de la fatxada de l'edifici.
- Caigudes de persones a diferent nivell.
- Electrocutacions per contacte directe amb línies elèctriques aèries.
- Contactes elèctrics directes i indirectes pels equips de soldadura i tall.
- Cops, punxades i talls per eines manuals i elèctriques.
- Caiguda d'objectes per la bastida i per causa de l'elevació de càrregues.
- Atrapament i rascades per les operacions d'elevació de càrregues.
- Desplome de la bastida total o parcial.
- Projeccions als ulls i al cos de partícules.
- Exposicions a radiacions nocives per l'efecte de la soldadura.
- Incendi per efecte elèctric, tall o soldadura.
- Cremades per contacte amb elements calents.
- Sobre esforços dors lumbar.

☑ Mesures preventives:

- Els operaris que realitzen aquests treballs hauran de portar cinturons portaeines.
- Tots els operaris que treballin a la coberta portaran cinturons de seguretat amarrats a dispositius anticaiguda.
- Utilització d'eines adequades i homologades per cada tipus d'operació.
- No hi ha d'haver objectes que impedeixin el trànsit a través de la bastida.
- En tot moment es mantindrà l'ordre i la neteja al voltant de la bastida.
- Es verificarà la no existència de línies elèctriques pròximes. En cas d'existir aquestes línies, es procedirà a aïllar els conductors elèctrics mitjançant personal autoritzat de l'empresa de subministres elèctrics.
- L'equip de soldadura elèctrica i el de tall, hauran d'estar homologats i en perfecte estat, a més els operaris hauran de disposar de totes les proteccions que s'enumeren posteriorment.
- L'alimentació elèctrica dels equips de soldadura i tall hauran de disposar de tomes de corrent estanques i homologades. El grau de protecció d'aquests materials elèctrics serà de IP557.
- Queda prohibit qualsevol operació amb eines elèctriques (tall, soldadura, etc.) en presència de tolls d'aigua, pluja o zones especialment humides ni tampoc en zones properes a magatzems de productes combustibles.
- Qualsevol peça de roba tacada de greix, oli, dissolvent, etc., hauran de substituir-se per una altra de neta.
- Tota elevació de càrrega es realitzarà mitjançant torn o sistema similar, el qual estarà correctament instal·lat en la part alta de l'edifici. El torn haurà d'estar homologat i disposar del marcadore CE, a més s'haurà de complir el RD 1215/97 del 18 de juliol.
- L'estructura de suport del torn serà suficientment sòlida i estarà correctament dimensionada per la càrrega màxima admissible del sistema d'elevació.
- El sistema d'elevació de càrrega es situarà en un lloc perfectament accessible per l'operari el qual haurà de disposar de cinturó de seguretat i dispositiu anticaiguda.
- Es mantindrà net, ordenat i lliure de brosa, tota la zona propera a l'operari del sistema d'elevació de càrregues.
- El tambor del sistema d'elevació haurà de disposar de fixacions per guiar el cable i evitar que surti de les guies. El cable serà metàl·lic dimensionat amb un factor de seguretat 6 respecte a la càrrega màxima admissible del sistema d'elevació. El valor de dita càrrega màxima admissible estarà marcada en una placa en el mateix torn, serà visible per l'operari del torn i no podrà ser superada sota cap circumstància.
- El sistema d'ancoratge de la càrrega disposarà de seguretat antidesenganxable i estarà homologat per la càrrega màxima a suportar.
- Queda prohibit situar-se sota la càrrega suspesa, així mateix tampoc es podrà estar en zona de caiguda de guspies procedents de les operacions de tall i soldadura.

© Equips de protecció individual:

- Casc homologat tipus N, en tot moment.
- Botes de seguretat homologades classe I.
- Guants de cuir homologats per proteccions mecàniques.
- Dispositius anticaiguda classe A tipus 3 amb enrotllador.
- Cinturó de seguretat classe A tipus 2.
- Pantalla de protecció per soldadura elèctrica.
- Peto de treball.
- Ulleres de seguretat classe D per operacions de tall i llimadura.
- Guants de màniga llarga per soldadors.
- Guants aïllants de l'electricitat classe I.
- Mandil de cuir per soldador.

- Faixa de protecció dors lumbar.

C) Instal·lació i connexió dels components elèctrics de la instal·lació

En aquest apartat s'analitzen els riscos derivats de les operacions de instal·lació dels components elèctrics de la instal·lació solar fotovoltaica descrita en apartats anteriors. Els components elèctrics principals que s'instal·laran, així com les principals operacions a realitzar, són:

- Connexions dels mòduls fotovoltaics en altura de bastida.
- Inversor de corrent a nivell del terra (sota coberta).
- Cablejat divers a nivell de terra i en altura.
- Quadres de connexions, comptadors i dispositius elèctrics a nivell del terra.
- Connexió a la xarxa general de distribució a nivell subterrani.

Els elements elèctrics citats s'instal·laran en llocs protegits per les inclemències del temps en l'interior de l'edifici de tal manera que només siguin accessibles per personal autoritzat.

Només es realitzaran d'alt de la bastida els treballs de connexió dels mòduls fotovoltaics, els quals hauran d'estar homologats i disposar del marcat de la UE. Les demés operacions podran realitzar-se a nivell del terra o en el pitjor dels casos amb l'ajuda d'una escala tipus tisora no superior als 3 metres d'altura.

☒ **Identificació de riscos:**

- Caigudes de persones a diferent nivell.
- Caigudes de persones al mateix nivell.
- Cops per caiguda d'objectes.
- Contacte directe amb línies i connexions elèctriques.
- Contactes elèctrics indirectes.
- Cops, punxades i talls per eines manuals i elèctriques.
- Incendi per efecte elèctric.

☒ **Mesures preventives:**

- Els operaris que realitzen els treballs de connexió elèctrica hauran de portar cinturons portaeines.
- Tots els operaris que treballin dalt de la bastida portaran cinturons de seguretat amarrats a dispositius anticaiguda.
- Utilització de eines adequades i homologades amb doble aïllament elèctric.
- No haurà d'haver objectes que molestin el trànsit al voltant de la bastida.
- En tot moment es mantindrà l'ordre i la neteja al voltant de la bastida.
- Es verificarà la inexistència de línies elèctriques properes. En cas d'existir esmentades línies, es procedirà a aïllar els conductors elèctrics mitjançant personal autoritzat de l'empresa de subministres elèctrics.
- En les proximitats de la bastida es col·locarà els senyals que alerten del perill de caiguda d'objectes i elevació de càrregues.
- Qualsevol peça de roba tacada de greix, oli, dissolvent, etc., haurà de substituir-se per una altra de neta.
- Es mantindrà net i ordenat el lloc de treball.
- En tot moment es disposarà de calçat homologat de *classe I*.
- Si es fa servir escales de mà, aquestes hauran de ser del tipus tisora amb cadena antiobertura i estar homologades amb un amplada mínima de 0,5 m i 3 m d'altura màxima.

- Tots els conductors elèctrics utilitzats, així com els seus corresponents connexions, i components elèctrics hauran d'estar correctament aïllats segons REBT.
 - Qualsevol part de la instal·lació es considera baixa tensió, mentre no es comprovi el contrària amb aparells destinats a tal efecte.
 - Es prescindirà, sempre que sigui possible, de realitzar treballs en tensió elèctrica.
 - En cas de la necessitat inevitable de manipulacions elèctriques amb tensió, haurà de fer-se amb guants de protecció elèctrica *classe I*, botes de seguretat aïllants classe I i proteccions oculars *classe D*.
 - Els conductors si van pel terra, no es trepitjaran ni es col·locaran materials sobre ells, protegint-los adequadament al travessar zones de pas.
 - Es senyalitzaran els llocs on estan instal·lats els equips elèctrics.
 - Tots els equips i components de la instal·lació fotovoltaica hauran d'estar homologats i disposar del marcat CE.
 - Els elements i les condicions de muntatge dels components elèctrics de tota la instal·lació hauran de complir el REBT així com les seves corresponents Instruccions Tècniques Complementàries.
 - El muntatge i instal·lació dels components elèctrics així com les seves connexions, haurà de realitzar-se segons els corresponents manuals de instruccions facilitats pels fabricants dels equips.
-
- Es donaran instruccions sobre mesures a agafar en cas de incendi o accident elèctric.
 - Existirà senyalització clara i senzilla, prohibint l'accés de persones als llocs on estan instal·lats els equips elèctrics, així com el maneig d'aparells elèctrics a persones no designades per això.

© Equips de protecció individual:

- Casc homologat tipus N, en tot moment.
- Botes de seguretat homologades classe I.
- Guants de cuir homologats per a proteccions mecàniques.
- Guants aïllants de l'electricitat classe I.
- Dispositiu anticaiguda classe A tipus 3 amb enrotllador.
- Cinturó de seguretat classe A tipus 2.
- Peto de treball.
- Eines manuals homologades amb aïllament elèctric.
- Cinturó portaeines.

3.- OBLIGACIONS DEL PROMOTOR

Abans de l'inici dels treballs, es designarà un coordinador en matèria de seguretat i salut, quan en l'execució de les obres intervenen més d'una empresa, o una empresa i treballadors autònoms, o diversos treballadors autònoms.

La designació de coordinador en matèria de seguretat i salut no eximirà al promotor de les seves responsabilitats.

El promotor haurà d'efectuar un avís a l'autoritat laboral competent abans del començament de les obres, que es redactarà amb lo arreglat al disposat en l'Annex III del *RD 1627/1997*, del 24 d'octubre, havent d'exposar-se en l'obra de forma visible i s'actualitza si es necessari.

4.- COORDINADORS EN MATÈRIA DE SEGURETAT I SALUT

La designació dels coordinadors en l'elaboració del projecte i en l'execució de l'obra, haurà de desenvolupar les següents funcions:

1. Coordinar l'aplicació dels principis generals de prevenció i seguretat.
2. Coordinar les activitats de l'obra per garantir que les empreses i personal actuant apliquin de manera coherent i responsable els principis de l'acció preventiva que es reconeixen en l'article 15 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals* durant l'execució de l'obra, i en particular, en les activitats a que es refereix l'article 10 del *RD1627/1997*.
3. Aprovar el pla de seguretat i salut elaborat pel contractista i, en el seu cas, les modificacions introduïdes en el mateix.
4. Organitzar la coordinació d'activitats empresarials previstes en l'article 24 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals*.
5. Coordinar les accions i funcions de control de l'aplicació correcta dels mètodes de treball.
6. Adoptar les mesures necessàries per que només les persones autoritzades puguin accedir a l'obra.

La Direcció Facultativa assumirà aquestes funcions quan no fos necessària la designació del coordinador.

5.- PLA DE SEGURETAT I SALUT EN EL TREBALL

En l'aplicació de l'estudi de seguretat i salut, el Contractista, abans de l'inici de l'obra, elaborarà un pla de seguretat i salut en el treball en el que s'analitzen, estudien, desenvolupen i complementen les previsions contingudes en aquest estudi bàsic i en funció del seu propi sistema d'execució d'obra.

En aquest pla s'inclourà, en aquest cas, les propostes de mesures alternatives de prevenció que el contractista proposi amb la corresponent justificació tècnica, i que no podran implicar disminució dels nivells de protecció previstos en aquest estudi bàsic.

El pla de seguretat i salut haurà de ser aprovat, abans de l'inici de l'obra, pel coordinador en matèria de seguretat i salut. Durant l'execució de l'obra, aquest podrà ser modificat pel contractista en funció del procés d'execució de la mateixa, de l'evolució dels treballs i de les possibles incidències o modificacions que poden sorgir al llarg de l'obra, però sempre amb l'aprovació expressa del Coordinador en matèria de seguretat i salut.

Quan no fos necessària la designació del coordinador, les funcions que se li atribueixen seran assumides per la Direcció Facultativa.

Aquells que intervinguin en l'execució de l'obra, així com la persona o òrgans amb responsabilitats en matèria de prevenció, les empreses participants en la mateixa i els representats dels treballadors, podran presentar per escrit i de manera raonada, els suggeriments i alternatives que estimin oportunes; pel que el pla de seguretat i salut estarà en l'obra a disposició permanent dels abans mencionats, així com de la Direcció Facultativa.

6.- OBLIGACIONS DELS CONTRACTISTES I SUBCONTRACTISTES

El contractista i subcontractistes estan obligats a :

1. Aplicar els principis de l'acció preventiva que es recull en l'article 15 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals*, i en particular:

- Manteniment de l'obra en bon estat d'ordre i neteja.
- Elecció de l'emplaçament dels llocs i àrees de treball, tenint en compte les seves condicions d'accessos, i la determinació de vies, zones de desplaçaments i circulació.
- Manipulació de diferents materials i utilització de medis auxiliars.
- Manteniment, control previ a la posta en servei i control periòdic de les instal·lacions i dispositius necessaris per l'execució de les obres, amb objecte de corregir els defectes que poguessin afectar a la seguretat i salut dels treballadors.
- Delimitació i condicionament de les zones d'emmagatzematge i dipòsit de materials, en particular si es tracta de matèries perilloses.
- Emmagatzematge i evacuació de residus i deixalles.
- Recollida de materials perillosos utilitzats.
- Adaptació del període de temps efectiu que haurà de dedicar-se als diferents treballs o fases de treball.
- Cooperació entre tots els que intervenen en l'obra.
- Interaccions o incompatibilitats amb qualsevol altre treball o activitat.

2. Complir i fer complir al seu personal el que s'estableix en el Pla de seguretat i salut.

3. Complir la normativa en matèria de prevenció de riscos laborals, tenint en compte les obligacions sobre coordinació de les activitats empresarials previstes en l'article 24 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals*, així com complir les disposicions mínimes establertes en l'Annex IV del *RD 1627/1997*.

4. Informar i proporcionar les instruccions adequades als treballadors autònoms sobre totes les mesures que hagin d'adoptar-se en el que es refereix a la seva seguretat i salut.

5. Atendre les indicacions i complir les instruccions del coordinador en matèria de seguretat i salut durant l'execució de l'obra.

Seràn responsables de l'execució correcta de les mesures preventives fixades en el Pla de seguretat i salut, i en el relatiu a les obligacions que li corresponen directament, o en el seu cas, als treballadors autònoms per ells contractats. A més, respondran sobre les conseqüències que es derivin de l'incompliment de les mesures previstes en el Pla. Les responsabilitats del Coordinador, Direcció Facultativa i del promotor no eximiran de les seves responsabilitats als contractistes i subcontractistes.

7.- OBLIGACIONS DELS TREBALLADORS

Els treballadors autònoms estaran obligats a:

1. Aplicar els principis de l'acció preventiva que es recull en l'article 15 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals*, i en particular:
2. Manteniment de l'obra en bon estat d'ordre i neteja
 - Emmagatzema i evacuació de residus i deixalles.
 - Recollida de materials perillosos utilitzats.
 - Adaptació del període de temps efectiu que haurà de dedicar-se als diferents treballs o fases de treball.
 - Cooperació entre tots els que intervenen en l'obra.
3. Complir les disposicions mínimes establertes en l'Annex IV del *RD 1627/1997*.
4. Ajustar la seva actuació conforme als deures sobre coordinació de les activitats empresarials previstes en l'article 24 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals*, participant en particular en qualsevol mesura d'actuació coordinada que s'hagués establert.
5. Complir amb les obligacions establertes per als treballadors en l'article 29, apartat 1 i 2 de la *Llei de Prevenció de Riscos Laborals*.
6. Utilitzar equips de treball que s'ajustin al disposat en el *RD 1215/1997*.
7. Escollir i utilitzar equips de protecció individual en els termes previstos en el *RD 773/1997*.
8. Atendre les indicacions i complir les instruccions del Coordinador en matèria de seguretat i salut. Els treballadors autònoms hauran de complir l'establert en el Pla de Seguretat i Salut.

8.- LLIBRE D'INCIDÈNCIES

En cada centre de treball existirà amb fins de control i seguiment del Pla de Seguretat i Salut, un llibre d'incidències que constarà de fulles per duplicat i que serà facilitat pel col·legi professional al que pertanyi el tècnic que hagi aprovat el Pla.

Haurà de mantenir-se sempre en l'obra i en poder del coordinador. Tindran accés al llibre, la Direcció Facultativa, els contractistes i subcontractistes, els treballadors autònoms, les persones amb responsabilitat en matèria de prevenció de les empreses que intervenen, els representants dels treballadors, i els tècnics especialitzats de les Administracions Públiques competents en aquesta matèria, els quals podran fer anotacions en el mateix.

Efectuada una notificació en el llibre d'incidències, el coordinador estarà obligat a remetre en el termini de 24h una còpia a la *Inspecció de Treball i Seguretat Social* de la província en que es realitza l'obra. Igualment notificarà dites anotacions al contractista i als representats dels treballadors.

9.- PARALITZACIÓ DELS TREBALLS

Quan el Coordinador durant l'execució de les obres, observi el incompliment de les mesures de seguretat i salut, advertirà al contractista i deixarà constància de tal incompliment en el llibre d'incidències, quedant facultat per, en circumstàncies de risc greu i imminent per la seguretat i salut dels treballadors, disposar la paralització dels treballs, o en el seu cas, de la totalitat de l'obra.

Donarà compte d'aquest fet als efectes oportuns, a la *Inspecció de Treball i Seguretat Social* de la província en que es realitza l'obra. Igualment notificarà al contractista, i en el seu cas als subcontractistes i/o autònoms afectats per la paralització als representants dels treballadors.

10.- DRETS DELS TREBALLADORS

Els contractistes i subcontractistes hauran de garantir que els treballadors rebran una informació adequada i comprensible de totes les mesures que hagin d'adoptar-se en el que es refereix a seguretat i salut en l'obra.

Una còpia del Pla de Seguretat i Salut i de les seves possibles modificacions, als efectes del seu coneixement i seguiment, serà facilitada pel contractista als representants dels treballadors en el centre de treball.

11.- PLEC DE CONDICIONS PARTICULARS

La normativa d'aplicació per la seguretat i salut en les obres de construcció queda reflexada en l'*R.D.1627/1997* publicat en el BOE. En aquest Real Decreto es defineix l'Estudio de Seguridad y Salud, així com l' "Estudio Básico de Seguridad y Salud" i el "Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo".

En tractar-se d'una obra de pressupost superior a 450.000 €, s'ha de realitzar un *Estudi de Seguretat i Salut*.

S'utilitzarà la següent normativa per garantir la seguretat dels treballadors en l'execució de la instal·lació:

- Estatuto de los trabajadores.
- Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (B.O.E.11.3.71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (B.O.E. 16.3.71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (B.O.E. 15.6.52).
- Homologación de los medios de protección personal de los trabajadores (B.O.E. 29.5.74).

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (B.O.E. 9.10.73).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo en los proyectos de edificación (B.O.E. 24.3.86).
- Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LEY 31/1998, 8.11.95).

L'execució de l'obra objecte de l'Estudi de Seguretat i Salut està regulada per la Normativa d'obligada aplicació que a continuació es cita.

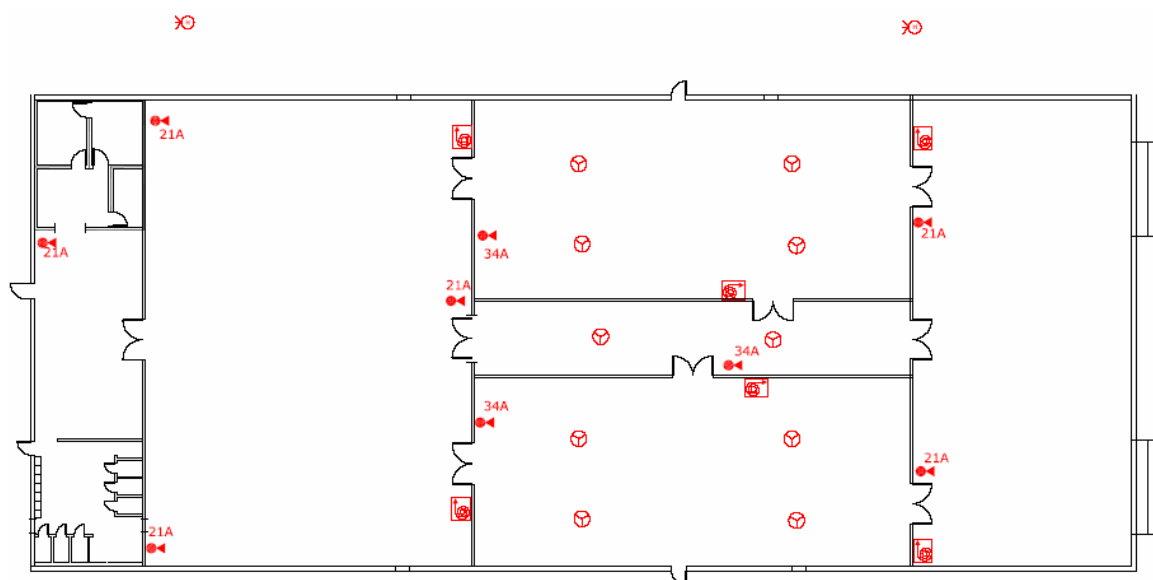
- ▶ *Reial Decret 1627/1997* de 24 de octubre; Disposicions mínimes de seguretat i de salut en les obres de construcció.
 - Completat pel *Reial Decret 396/2006* de 31 març; Disposicions mínimes de seguretat i salut aplicables als treballs amb risc d'exposició a l'amiant.
 - Modificat pel *Reial Decret 604/2006* del 19 de maig; Modificació del Reglament dels Serveis de Prevenció i de les Disposicions mínimes de seguretat i de salut en les obres de construcció.
- ▶ *Llei 31/1995* de 8 de novembre; Llei de Prevenció de Riscos Laborals.
 - Completada pel *Reial Decret 665/1997* del 12 de maig; Protecció dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició a agents cancerígens durant el treball.
 - Modificada per la *Llei 50/1998* de 30 de desembre; Llei de Mesures Fiscals, Administratives i del Ordre Social.
 - Completada pel *Reial Decret 374/2001* del 6 d'abril; Protecció de la salut i seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb els agents químics durant el treball.
 - Completada pel *Reial Decret 614/2001* del 8 de juny; Disposicions mínimes per la protecció de la salut i seguretat dels treballadors front al risc elèctric.
 - Modificada per la *Llei 54/2003* del 12 de desembre; Llei de reforma del marc normatiu de la prevenció de riscos laborals.
 - Desenvolupat pel *Reial Decret 171/2004* del 30 de gener; Desenvolupament de l'article 24 de la Llei 31/1995 de Prevenció de Riscos Laborals, en matèria de coordinació d'activitats empresarials.
 - Completada pel *Reial Decret 1311/2005* del 4 de novembre; Protecció de la salut i la seguretat dels treballadors front als riscos que poden derivar-se de l'exposició a vibracions mecàniques.
 - Completada pel *Reial Decret 286/2006* del 10 de març; Protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició al soroll.
 - Completada pel *Reial Decret 396/2006* del 31 de març; Disposicions mínimes de seguretat i salut aplicables als treballs amb risc d'exposició a l'amiant.
- ▶ *Reial Decret 39/1997* del 17 de gener; Reglament dels Serveis de Prevenció.
 - Modificat pel *Reial Decret 780/1998* del 30 d'abril; Modificació del Reglament dels Serveis de Prevenció.
 - Modificat pel *Reial Decret 604/2006* del 19 de maig; Modificació del Reglament dels Serveis de Prevenció i de les Disposicions mínimes de seguretat i de salut en les obres de construcció.
- ▶ *Reial Decret 486/1997* del 14 d'abril; Seguretat i Salut en els llocs de treball.
- ▶ *Reial Decret 487/1997* del 14 d'abril; Manipulació de càrregues.

- ▶ *Reial Decret 665/1997* del 12 de maig; Protecció dels treballadors contra els riscos relacionats amb l'exposició a agents cancerígens durant el treball.
 - Modificat pel *Reial Decret 349/2003* del 21 de març; Modificació del *Reial Decret 665/1997*, del 12 de maig, sobre la protecció dels treballadors contra els riscos relacionats amb exposició a agents cancerígens durant el treball i ampliació del seu àmbit d'aplicació als agents mutàgens.
- ▶ *Reial Decret 1215/1997* del 18 de juliol; Utilització d'equips de treball.
 - Modificat pel *Reial Decret 2177/2004* del 12 de novembre; Modificació del *Reial Decret 1215/1997*, del 18 de juliol, pel que s'estableix les disposicions mínimes de seguretat i salut per l'utilització pels treballadors dels equips de treball, en matèria de treballs temporals en altura.
- ▶ *Reial Decret Legislatiu 1/1995*; Estatut dels Treballadors.
- ▶ *Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió. Decret 842/2002* del 2 d'agost; pel que s'aprova el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió i les seves instruccions tècniques complementàries ITC que el desenvolupen, així com totes les subsegüents publicacions, que afecten a matèria de seguretat en el treball. Actualització de l'antic Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió, *decret 2413/73* del 20 de setembre.
- ▶ Ordenances municipals que siguin d'aplicació.

12.- GRÀFICS I ESQUEMES



Figura 1: Cartell de senyalització en obra



LLEENDA PROTECCIÓ CONTRAINCENDIS





	EXTINTOR
	B.I.E. Ø25 mm. amb presa Ø45 mm.
	HIDRANT
	DETECTOR IÒNIC

Figura 2: Medis contra incendis existents en la nau agroindustrial

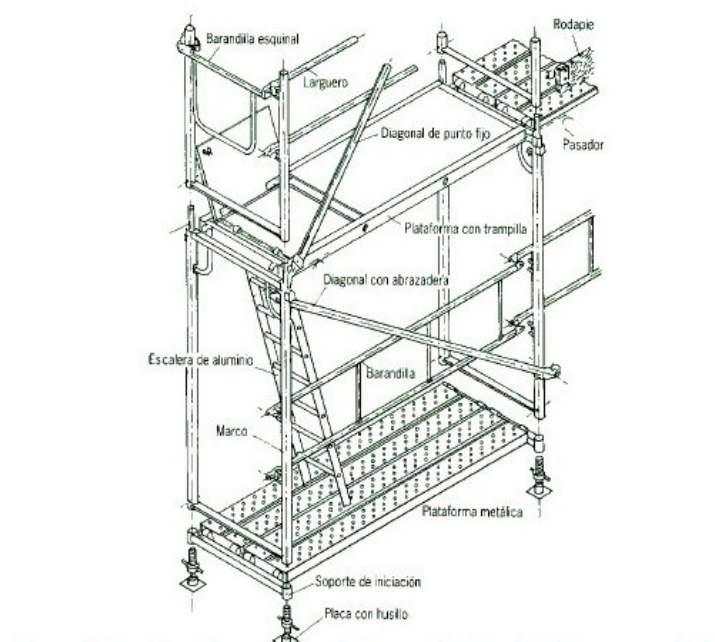


Figura 3: Muntatge bastida

13.- MEDICIONS I PRESSUPOST

El pressupost de Seguretat i Salut va inclòs en el Pressupost general:

<u>PRESSUPOST DE SEGURETAT I SALUT</u>						
Partides			Unitat	Preu unitari (€)	Quantitat	Import (€)
1 Proteccions individuals	1.1	Cinturó de seguretat i subjecció	u	74,84	3	224,52
	1.2	Cinturó portaeines	u	6,24	3	18,72
	1.3	Guants d'ús general	u	1,64	3	4,92
	1.4	Guants per soldar	u	3,15	2	6,3
	1.5	Botes de seguretat amb puntera metàl·lica	u	8,95	3	26,85
	1.6	Ulleres protectores contra impactes	u	4,95	2	9,9
	1.7	Pantalla de seguretat per soldador amb fixació al cap	u	3,31	2	6,62
	1.8	Mandil per soldador de cuir	u	17,05	1	17,05
	1.9	Casc de seguretat	u	3,61	3	10,83
2 Proteccions col·lectives	2.1	Lloguer de plataforma elevadora un dia	d	122,48	1	122,48
	2.2	Barana de 60 m de protecció per obertures, amb guardacossos metàl·lic cada 2,5 m i tauló de 0,2 x 0,07 m	u	125	2	250
	2.3	Plafó de senyalització amb senyals de seguretat, normalitzades amb suport d'acer galvanitzat de 80x40x2 mm i 1,2 m d'alçada	u	16,71	2	33,42
	2.4	Línia horitzontal de seguretat per anclatge i desplaçament de cinturons de segureta amb corda per dispositiu anticaiguda i anclatge autobloquejant de fixació de mosquetons	m	11,64	70	814,8
	2.5	Extintor de pols sec BCE de 6 kg	u	23,41	2	46,82
	2.6	Bastida de protecció, amb pòrtics de 1,5 m arriestrats cada 2,5 m i amb plataformes	m²	11,66	40	466,4
3 Higiene i benestar	3.1	Lloguer de caseta prefabricada per vestuaris i lavabos d'obra, durant 3 setmanes, amb estructura metàl·lica de perfils conformats en fred, tancament de xapa galvanitzada, aïllament interior amb llana de vidre, revestiment de PVC en sòls, persianes, i instal·lació elèctrica	u	121	1	121

		d'enllumenat				
	3.2	Farmaciola d'urgència per obra, amb continguts mínims obligatoris	u	67,93	1	67,93
4	4.1	Confecció i seguiment del Pla de Seguretat en base a l'Estudi de Seguretat i Salut	u	1.500	1	1.500
	4.2	Activitat de vigilància dels recursos preventius assignats	h	14,02	9	126,18
	4.3	Formació de treballadors en matèria de Seguretat i Salut	h	30,62	6	183,72
TOTAL						4.058,46 €

Resum del pressupost de seguretat i salut

1- Proteccions Individuals	325,71 €
2- Proteccions Col·lectives	1733,92 €
3- Higiene i benestar	188,93 €
4- Formació i Vigilància	1809,9 €
TOTAL	4.058,46 €

El pressupost de Seguretat i Salut ascendeix a la quantitat de **QUATRE MIL CINQUANTA-VUIT EUROS I QUARANTA –SIS CÈNTIMS.**

Lleida Juliol de 2010

PRESSUPOST

PRESSUPOST. INDEX

1.- PRESSUPOST D' INSTAL·LACIONS.....	144
2.- PRESSUPOST GASTOS GENERALS.....	146
3.- Resum del pressupost de seguretat i salut	147
4.- RESUM GENERAL DEL PRESSUPOST	147

1.- PRESSUPOST D' INSTAL·LACIONS

Partides			Unitat	Preu unitari (€)	Quantitat	Import (€)
1 mòduls fotovoltaics	1.1	Mòdul fotovoltaic HEE215MA65-235	u	484,9	690	334.586,0
	1.2	Estructura suport per mòdul fotovoltaic <i>ANUSOL</i> , model <i>Tramuntana</i> (amb cargolaria i safates per cables inclosos)	m ²	28,05	1.173	32.902,7
2 inversors	2.1	Inversor de 76 kW <i>SUNWAY TG 100-800V</i>	u	32.898,92	1	32.898,92
	2.2	Inversor de 68 kW <i>SUNWAY TG 90-600V</i>	u	31.190,64	1	31.190,64
3 conductors	3.1	Conductor unipolar baixa tensió 0,6/1 kV coure, aïllament PVC, secció 2,5 mm ² (+ <i>terra</i>) (L1)	m	0,34	2.772,5	925,65
	3.2	Conductor unipolar baixa tensió 0,6/1 kV coure, aïllament PVC, secció 4 mm ² (+ <i>terra</i>) (L1)	m	0,44	1.432,5	630,3
	3.3	Conductor unipolar baixa tensió 0,6/1 kV coure, aïllament PVC, secció 95 mm ² . (L2)	m	7,04	88	619,5
	3.4	Conductor <i>terra</i> unipolar baixa tensió 0,6/1 kV coure, aïllament PVC, secció 50 mm ² . (L2)	m	3,72	88	327,4
	3.5	Conductor coure tetrapolar 3x50 mm ² + 25 mm ² (L3)	m	19,61	100	1.961,0

4 proteccions i caixes	4.1	Pica de posada a terra coure 2000x14mm	u	19,9	2	39,8
	4.2	Interruptor automàtic 10 A . BCC S803 PV-s10 (CC)	u	55,07	33	1.817,31
	4.3	Descarregador Solartec PST31PV classe II, tensió permanent 1000 Vcc, descàrrega 20 kA	u	145,52	2	291,0
	4.4	Vigilant d'aïllament PROAT, FAC3/300/l, 1000 Vcc	u	319,51	2	639,02
	4.5	Interruptor INFAC H de CC	u	176,89	2	353,78
	4.6	Interruptor automàtic Schneider, INT.COMPACT NS 160 NA 2P, de 160 A (CC)	u	338,84	2	677,68
	4.7	Caixa de comandament i protecció amb porta, material autoextingible de 36 mòduls muntat superficialment	u	45,57	2	91,14
	4.8	Protecció diferencial per equip de protecció i mesura TMF10 de 160 A (55 a 111 kW), amb toroïdal de 70 mm de diàmetre, sortida superior o lateral, muntat en caixa modular de polièster reforçat amb fibra de vidre	u	240	2	480,0
	4.9	Conjunt de protecció i mesura tipus TMF10 per subministrament trifàsic individual superior a 15 kW, per mesura indirecta, potència entre 55 i 111 kW, tensió de 400 V, format per conjunt de caixes modulares de doble aïllament de polièster reforçat amb fibra de vidre de mides totals 630x1260x171 mm, amb base de fusibles (sense incloure els fusibles), sense equip comptador, amb IGA tetrapolar (4P) de 160 A regulable entre 80 i 160 A i poder de tall 10 kA	u	720,75	2	1.441,5
	4.10	Fusibles 160 A	u	9,16	8	73,28
	4.11	Centralització de comptadors horitzontal per 2 comptadors trifàsics	u	416,95	2	833,9

5 Tubs i safates	5.1	Canal plàstic de PVC rígid lateral llis, de 40x150 mm	m	10,65	140	1.491,0
	5.1	Safata plàstica de PVC rígid perforat, de 50x100 mm	m	5,65	40	226,0
	5.3	Tub corrugat PVC de 40 mm per cable soterrat, aïllant i no propagador de flama, resistència d'impacte 1 J, resistència a compressió 320 N i rigidesa dielèctrica 2000 V	m	0,51	100	51,0
						444.543,5 €

2.- PRESSUPOST GASTOS GENERALS

Concepte		Unitat	Preu unitari (€)	Quantitat	Import (€)
Treballs Connexió	Estudi de la companyia elèctrica	u	667	2	1.334
	Punt de connexió	u	38.000	2	76.000
Mà d'obra	Peó	h	9	120	1.080
	Ajudant electricista	h	11	120	1.320
	Oficial de primera	h	15	120	1.800
TOTAL PRESSUPOST GASTOS GENERALS					81.534 €

3.- RESUM DEL PRESSUPOST DE SEGURETAT I SALUT

1. Proteccions Individuals	325,71 €
2. Proteccions Col·lectives	1733,92 €
3. Higiene i benestar	188,93 €
4. Formació i Vigilància	1809,9 €
TOTAL	4.058,46 €

4.- RESUM GENERAL DEL PRESSUPOST

PARTIDES		
1- Mòduls fotovoltaics	367.483,7 €	
2- Inversors	64.089,6 €	
3- Conductors	4.463,8 €	
4- Proteccions i caixes	6.738,5 €	
5- Tubs i safates	1.768,0 €	
		444.543,5 €
GASTOS GENERALS	81.534 €	
SEGURETAT I SALUT	4.058,46 €	
15 % Benefici industrial	79.520,39 €	
TOTAL PRESSUPOST EXECUCIÓ PER CONTRATA		609.656,34 €
16 % IVA	97.545,01 €	
TOTAL PRESSUPOST		707.201,36 €

El pressupost de la Instal·lació del projecte fotovoltaic ascendeix a la quantitat de **SET-CENTS SET MIL, DOS-CENTS UN MIL EUROS I TRENTA-SIS CÈNTIMS**

Lleida, Juliol de 2010

Juan Francisco Juárez García

PLEC DE CONDICIONS

PLEC DE CONDICIONS. INDEX

1.- CONDICIONS DE DISSENY	150
1.1.- SISTEMA GENERADOR FOTOVOLTAIC	150
1.2.- INVERSORS	151
1.3.- PROTECCIONS	152
1.4.- CABLEJAT	153
1.5.- POSADA A TERRA DE LES INSTAL·LACIÓ	153
2.- REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN	154
2.1.- CIRCUITS DE CORRENT CONTÍNUA	154
2.2.- CIRCUITS DE CORRENT ALTERN	154
3.- EXECUCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ	155
3.1.- INTEGRACIÓ ARQUITECTÒNICA I CTE	155
3.2.- SISTEMES DE SUPORT DELS MÒDULS FOTOVOLTAICS	156
3.3.- UBICACIÓ DE L'EQUIPAMENT	157
3.4.- DIMENSIONAMENT DE CABLES	157
3.5.- MUNTATGE ELÈCTRIC	158
3.5.1.- <i>Seguretat</i>	158
3.5.2.- <i>Armaris de connexió</i>	158
3.5.3.- <i>Manteniment dels mòduls</i>	159
4.- PROCEDIMENT PER LA CONNEXIÓ A LA XARXA DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA	160
4.1.- REDACCIÓ DEL DOCUMENT BÀSIC	160
4.2.- SOL·LICITUD DE PUNT DE CONNEXIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA A LA XARXA DE L'EMPRESA DISTRIBUÏDORA	160
4.3.- REDACCIÓ DEL DOCUMENT TÈCNIC DEFINITIU I INCLUSIÓ EN EL RÈGIM ESPECIAL	161
4.3.1.- <i>Procediment d'inclusió en Règim Especial</i>	161
4.4.- REALITZACIÓ DEL MUNTATGE DE LA INSTAL·LACIÓ I INSCRIPCIÓ DEFINITIVA EN EL REGISTRE ADMINISTRATIU D'INSTAL·LACIONS DE PRODUCCIÓ EN RÈGIM ESPECIAL	162
4.5.- INGRESSOS PER LA VENDA D'ENERGIA VESSADA A LA XARXA	162
4.6.- NORMATIVA QUE REGULA AQUEST PROCEDIMENT	163
5.- LEGISLACIÓ DE CONNEXIÓ A XARXA	163

Figura 1: Pèrdues respecte la inclinació i orientació òptimes	155
Figura 2: Cablejat de l'armari de connexió d'un mòdul	158
Figura 3: Cable travessant un mur exterior	159

1.- CONDICIONS DE DISSENY

Les condicions de disseny estan recollides bàsicament del plec de condicions de l'IDAE⁷ i del Codi Tècnic de l'Edificació, dintre de la Exigència Bàsica HE 5: Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica².

Característiques generals de disseny

- Les instal·lacions fotovoltaïques no es podran dissenyar amb acumulació i/o equips de consum d'energia entremetjats entre el camp de mòduls fotovoltaïcs i la xarxa de distribució de la companyia.
- Si la suma de la potència nominal dels inversors és superior a 5 kW, la connexió serà trifàsica
- La variació de tensió provocada per la connexió i desconnexió de la instal·lació a xarxa no podrà superar el 5%
- El factor de potència serà el més proper a la unitat
- Es disposarà d'un comptador d'energia de sortida i altre d'entrada, o d'un bidireccional. Tots ells de classe 2 i precintats. La intensitat nominal de sortida de l'inversor(s) estarà compresa entre el 50% de la intensitat nominal i la intensitat màxima de precisió del comptador

1.1.- SISTEMA GENERADOR FOTOVOLTAIC

Tots els mòduls han de satisfer les especificacions *UNE-EN 61215* per mòduls de silici cristal·lí, així com estar qualificats per algun laboratori reconegut.

El mòdul fotovoltaic portarà de forma clarament visible:

- model i nom o logotip del fabricant
- identificació individual o número de sèrie amb a la data de fabricació

Característiques tècniques
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Els mòduls han de portar els díodes de derivació per evitar les possibles avaries de les cèl·lules i els seus circuits per ombrejats parcials, i tindran un grau de protecció IP65. ▪ Els marcs laterals, si existeixen, seran d'alumini o acer inoxidable. ▪ Perquè un mòdul sigui acceptable, la seva potència màxima i corrent de curtcircuit reals referides a condicions estàndard han d'estar compreses en el marge del +- 10% dels corrents valors nominals del catàleg. ▪ Serà rebutjat qualsevol mòdul que presenti defectes de fabricació com trencaments o taques en qualsevol dels seus elements, així com falta d'alineació en les cèl·lules o bombolles de l'encapsulant. ▪ Es valorarà positivament una alta eficiència de les cèl·lules ▪ L'estructura del generador i els marcs metàl·lics dels mòduls es connectaran a terra quan les tensions nominals en contínua superin els 48 V ▪ Per motius de seguretat i per facilitar el manteniment i reparació del generador, s'instal·laran els elements necessaris (fusibles, interruptors, etc.) per a la desconnexió, de manera independent i en els dos terminals, de cada una de les branques de la resta del generador.

1.2.-INVERSORS

Han de ser del tipus adient per la connexió a la xarxa elèctrica, amb una potència d'entrada variable per tal de que siguin capaços d'extraure en tot moment la màxima potència que el generador fotovoltaic pot proporcionar al llarg de cada dia.

Els inversors que s'utilitzen en instal·lacions connectades a la xarxa són específics, ja que han d'assegurar el seguiment dels valors de tensió i freqüència de la xarxa de distribució a la que estan connectats, així com impedir el funcionament en mode illa en cas que es descarregui la línia per realitzar treballs de manteniment.

Han de complir els requisits especificats en el *Real Decreto 1663/2000, de 29 de setembre*, sobre connexió d'instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de distribució, en quant a:

- forma de connexió
- rangs de tensió i freqüència admesos
- factor de potència
- dispositius i elements de seguretat amb la que ha de contar la instal·lació en general

Característiques tècniques
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El principi de funcionament serà una font de corrent ▪ Seran autoconmutats ▪ Tindran un seguiment automàtic del punt de màxima potència del generador ▪ No funcionaran en illa o en mode aïllat. ▪ Compliran amb les directives comunitàries de <i>Seguretat Elèctrica i compatibilitat electromagnètica</i> (ambdós seran certificades pel fabricant), incorporant proteccions contra: <ul style="list-style-type: none"> - curtcircuits en alterna - tensió de xarxa fora de rang - freqüències de xarxa fora de rang - sobretensions, mitjançant varistors o similars - perturbacions presents i la xarxa com microtalls, pulsos, defectes de cicles, absència i retorn de la xarxa, etc. ▪ Cada inversor disposarà de les senyalitzacions necessàries per la seva correcta operació, i incorporarà els controls automàtics imprescindibles que assegurin l'adequada supervisió i maneig. ▪ Cada inversor incorporarà, al menys, els controls manuals següents: <ul style="list-style-type: none"> - encès i apagat generat de l'inversor - connexió i desconnexió de l'inversor de la interfaç

Característiques elèctriques
<ul style="list-style-type: none"> • L'inversor continuarà entregant potència a la xarxa de forma continuada en condicions de irradiància solar un 10% superiors a les condicions estàndard de mesura (<i>CEM</i>). A més, suportarà pics de magnitud un 30% superior a les <i>CEM</i> durant períodes de fins a 10 segons. • Els valors d'eficiència al 25 % i 100% de la potència de sortida nominal deuran

ser superiors al 85 i 88 % respectivament (valors mesurats incloent el transformador de sortida, si n'hi hagués) per inversors de potència inferior a 5 kW, i del 90% al 92% per inversors més grans de 5 kW.

- L'autoconsum de l'inversor en mode nocturn ha de ser inferior al 0,5% de la seva potència nominal.
- El factor de potència de la potència generada, ha de ser superior a 0,95 entre el 25% i el 100% de la potència nominal.
- A partir de potències majors del 10% de la seva potència nominal, l'inversor ha d'injectar energia a la xarxa.
- Els inversors tindran un grau de protecció mínima:
 - IPE 20 per inversors en l'interior d'edificis i llocs inaccessibles
 - IPE30 per inversors en l'interior d'edificis i llocs accessibles
 - IPE60 per inversors instal·lats a la intempèrie.
- Els inversors estaran garantits per operació en les següents condicions ambientals:
 - entre 0 i 4°C de temperatura
 - entre 0 i 85 % d'humitat relativa

1.3.- PROTECCIONS

La instal·lació complirà amb el que es disposa en el *Real Decreto 1663/2000* (article 11) sobre proteccions en instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa de baixa tensió i amb l'esquema unifilar que apareix en la Resolució de 31 de maig de 2001³.

En connexions a la xarxa trifàsiques, les proteccions per la interconnexió de màxima i mínima freqüència (51 i 49 Hz respectivament) i de màxima i mínima tensió (1,1 i 0,85 V respectivament) seran per a cada fase.

Exigències:

- Interruptor magnetotèrmic en el punt de connexió, accessible a la Companyia Distribuïdora (CD).
- Interruptor diferencial
- Interruptor automàtic de la interconnexió amb relé d'enclavament accionat per variació de tensió (0,85-1,1 Vm) o freqüència (59-51 Hz)
- El rearmament de la connexió de la instal·lació fotovoltaica a la xarxa, ha de ser automàtic
- L'inversor ha de complir els nivells d'emissió i immunitat davant d'harmònics i compatibilitat electromagnètica
- Les terres de la instal·lació fotovoltaica seran independents de la del neutre de la CD i de la de les masses de la edificació.
- Ha d'existir separació galvànica entre la xarxa de distribució i la instal·lació fotovoltaica.

1.4.- CABLEJAT

Els conductors seran de coure i tindran la secció adient per evitar caigudes de tensió i escalfaments:

- els conductors de la part contínua han de tenir la secció suficient perquè la caiguda de tensió sigui inferior al 1,5 %
- els conductors de la part alterna han de tenir una secció suficient perquè la caiguda de tensió sigui inferior al 2%

En ambdós cassos es prendran com a referència les tensions corresponents a caixes de connexions.

S'inclourà tota la longitud de cable de contínua i alterna, havent de tenir la longitud necessària per no generar esforços en els diferents elements ni possibilitat de contacte pel trànsit normal de persones.

Tot el cablejat de contínua serà de doble aïllament i adequat per al seu ús a al intempèrie, a l'aire o soterrat, d'acord amb la norma *UNE 21123*.

1.5.- POSADA A TERRA DE LES INSTAL·LACIÓ

Tota la instal·lació complirà amb el *Real Decreto 1663/2000* (article 12)⁴ sobre les condicions de posades a terra en instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa de baixa tensió.

Quan l'aïllament galvànic entre la xarxa de distribució de baixa tensió i el generador fotovoltaic no es realitzi mitjançant un transformador d'aïllament, s'explicaran en la *Memòria de Sol·licitud i de Disseny o Projecte* els elements utilitzats per garantir aquesta condició.

Totes les masses de la instal·lació fotovoltaica, tant de la secció contínua com de la alterna, estaran connectades a una única terra. Aquesta terra serà independent de la del neutre de la empresa distribuïdora, d'acord amb el *Reglamento de Baja Tensión*.

Les condicions tècniques indicades són les d'obligat compliment segons l'*RD 1663/2000*. Existeix més normativa que és necessari aplicar i es resumeix en:

- Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT).
- Especificacions Tècniques Particulars de las Comunitats Autònomes
- Especificacions tècniques particulars de la Companyia Distribuïdora
- Normes nacionals que afecten als equips que componen les instal·lacions fotovoltaïques.

Consideracions tècniques	
Posada a terra	<p>Perquè l'interruptor diferencial obligatori per l'<i>RD 1633/2000</i> funcioni, la instal·lació ha d'estar posada a terra.</p> <p>L'estructura de suport metàl·lica dels mòduls fotovoltaics i els marcs es connectaran a terra, com a mesura de seguretat davant descàrregues d'origen atmosfèric</p> <p>Quan la tensió de la part de corrent contínua és superior o igual a 48 V, és obligatori pel <i>REBT</i> que s'instal·lin medis de protecció contra contactes indirectes.</p>

2.- REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN

Les instal·lacions de més de 10 kW les dissenyen projectistes i les executen instal·ladors electricistes.

Les *Instrucciones Técnicas Complementarias* del *Reglamento Electrotécnico* per a baixa tensió aplicables a les instal·lacions solars fotovoltaïques són:

ITC-BT-08	Es refereix als sistemes de connexió del neutre i de les masses en xarxes de distribució d'energia elèctrica.
ITC-BT-24	Es refereix a la protecció contra contactes indirectes i indirectes en les instal·lacions interiors o receptores.
ITC-BT-40	Es refereix a les instal·lacions generadores de baixa tensió.

2.1.- CIRCUITS DE CORRENT CONTÍNUA

En les instal·lacions de corrent contínu de tensions baixes, fins a 75 V, no existeixen problemes de seguretat.

En general, s'adopta segons la *ITC-BT-24* el sistema de protecció següent:

- Protecció contra contactes directes: mitjançant el que s'assenyala en la *ITC-BT-24* en l'apartat 3.1 "*Aislamiento de partes activas*".
- Protecció contra contactes indirectes: mitjançant el que assenyala en la *ITC-BT-24* en l'apartat 4.2 "*protección por empleo de equipos de la clase II*".

S'ha de contrastar que tant els mòduls com les connexions siguin de classe II. Els conductors hauran de ser de doble aïllament.

En el cas de tractar-se de connexions a xarxa on es puguin utilitzar tensions en corrent continu molt elevades (varis centenars de volts), la solució anterior encara que és reglamentària, pot ser perillosa.

2.2.- CIRCUITS DE CORRENT ALTERN

El *Real Decreto 1663/2000*, assenyala la manera d'executar aquesta part de la instal·lació

- *Capítulo III, art. 8 -1) Condiciones técnicas de caracter general*: "així, el funcionament d'aquestes instal·lacions no podrà ser origen a condicions perilloses de treball pel personal de manteniment i explotació..."
- *Capítulo III, art. 11 -2) Protecciones*: " Interruptor automático diferencial amb la finalitat de protegir a les persones en el cas de derivacions d'algun element de la part contínua de la instal·lació..."
- *Capítulo III, art. 12) Condiciones de puesta a tierra*: " Les instal·lacions hauran de disposar d'una separació galvànica entre la xarxa de distribució de baixa tensió i les instal·lacions fotovoltaïques..."

3.- EXECUCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ

3.1.- INTEGRACIÓ ARQUITECTÒNICA I CTE

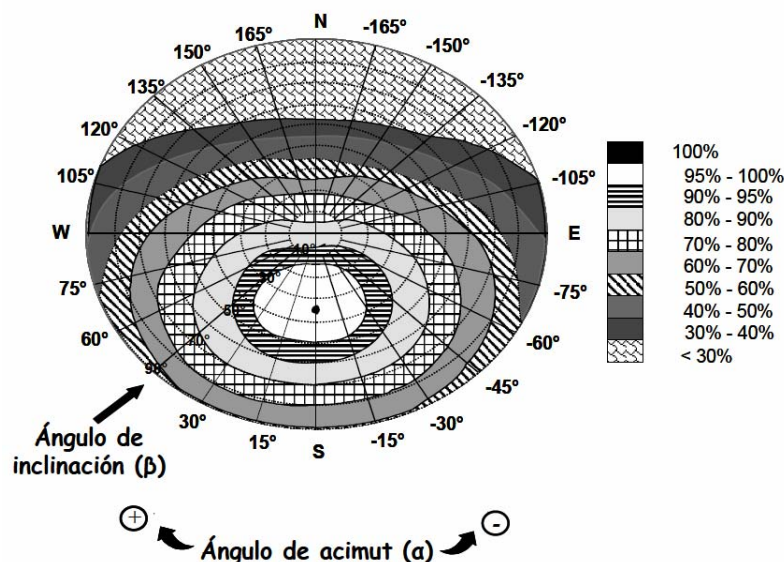
El CTE exigeix avaluar, sense excepcions, i continuant les pautes establertes, les pèrdues per orientació, inclinació i ombres del sistema generador per assegurar un emplaçament adequat.

La instal·lació dels mòduls solars s'efectuarà de manera que les pèrdues degudes a aquests factors siguin inferiors als límits indicats en la següent taula:

PÈRDUES LÍMIT			
CAS	ORIENTACIÓ I INCLINACIÓ	OMBRES	TOTAL
General	10 %	10 %	15 %
Superposició	20 %	15 %	30 %
Integració arquitectònica	40 %	20 %	50 %

En aquells cassos que per raons arquitectòniques excepcionals no es pugui instal·lar la potència exigida complint amb els valors de pèrdues límit establerts, es justificarà aquesta impossibilitat i es buscarà la ubicació que s'aproximi a la que ofereixi la màxima producció.

En la Figura 1, es pot comprovar d'una manera aproximada les pèrdues en una instal·lació per motiu de la seva orientació i inclinació, en comparació amb la que tindria se tingués una orientació i inclinació òptima.



S'observa que variacions de 30 ° en l'azimut, o variacions de 15 ° en la inclinació, tenen unes pèrdues energètiques aproximades del 5 % respecte al màxim que es pot aconseguir amb una orientació i inclinació òptimes. Això dona lloc a que es pot aconseguir una adequada implantació d'instal·lacions, buscant solucions que no desentonin en l'edificació o l'entorn, sense renunciar a uns rendiments energètics adequats.

3.2.- SISTEMES DE SUPORT DELS MÒDULS FOTOVOLTAICS

En tots els cassos es complirà amb la *Normativa Bàsica de la Edificación (NBE)*, *CTE* i demés normes aplicables.

- L'estructura ha de resistir, amb els mòduls instal·lats, les sobrecàrregues de vent i neu, d'acord amb la *NBE-AE-88*⁵
- El disseny i construcció de l'estructura i el sistema de fixació de mòduls, permetrà les necessàries dilatacions tèrmiques, sense transmetre càrregues que puguin afectar a la integritat dels mòduls, seguint les indicacions del fabricant.
- Els punts de subjecció pel mòdul seran suficients en nombre, tenint en compte l'àrea de recolzament i posició relativa, de manera que no es produeixin flexions en els mòduls superiors a les permeses pel fabricant i els mètodes homologats pel model del mòdul.
- El disseny de l'estructura es realitzarà per la orientació i l'angle d'inclinació especificat pel generador fotovoltaic, tenint en compte la facilitat de muntatge, el seu manteniment i la possible necessitat de substitucions d'elements.
- La cargolaria es realitzarà amb acer inoxidable, complint la norma *MV-106*⁶ En el cas de ser l'estructura galvanitzada s'admetran cargols galvanitzats, exceptuant la subjecció dels mòduls a la mateixa, que seran d'acer inoxidable.
- Els topes de subjecció de mòduls i la pròpia estructura no faran ombra sobre els mòduls
- L'estructura es protegirà superficialment contra l'acció dels agents ambientals. La realització de forats en l'estructura es farà abans de procedir al galvanitzat o protecció de l'estructura.
- En el cas d'instal·lacions integrades en coberta que a més facin de coberta del edifici, el disseny de l'estructura i l'estanquitat entre mòduls s'ajustarà a les exigències del *CTE* i a les tècniques usuals en la construcció de cobertes.
- Les estructures de suport necessàries per muntar els mòduls, tant sobre superfície plana com integrats sobre teulada inclouran tots els accessoris i ancoratges.
- L'estructura de suport serà calculada segons el *CTE* per suportar càrregues extremes degudes a factors climatològics adversos, tals com vent, neu, etc.
- Si l'estructura està construïda amb perfils d'acer laminat conformat en fred, complirà el *CTE* per garantir totes les seves característiques mecàniques i de composició química.
- Si l'estructura es del tipus galvanitzat en calent, complirà les normes *UNE 37-501* i *UNE 37-508*, amb un espessor mínim de 80 micres per eliminar les necessitats de manteniment i prolongar així la seva vida útil.

3.3.- UBICACIÓ DE L'EQUIPAMENT

Els panells fotovoltaics s'ubiquen en l'exterior, a la intempèrie, per la qual cosa han de disposar d'una caixa de connexió amb un grau d'estanquitat adequat (protecció corresponent a les projeccions d'aigua IPX4), segons la *Instrucció Tècnica ITC-BT-30* del *REBT*.

D'aquesta mateixa manera les connexions del cablejat de tipus mànega seran d'un aïllament de 0,6/1kV i hauran d'ajustar-se perfectament al corresponent premsaestopes.

Les instal·lacions a menys de 48 V en corrent continu es podrien considerar com de molt baixa tensió per la qual cosa només es deurà aplicar el que assenyala la *Instrucció Tècnica ITC-BT-36* del *Reglament per Baixa Tensió*, que permetrà usar un conductor amb aïllament menor, però procurant ajustar-se el millor possible al corresponent premsaestopes.

En general, si es possible, la resta d'equips s'ubicaran en interior, a fi de poder utilitzar material no estanc. Això és d'aplicació fonamental pels inversors i els quadres elèctrics.

(En el cas que no existeix edificació, i s'hagi de col·locar l'inversor i el quadre elèctric a la intempèrie, s'escollirà material amb l'adequada protecció (IPX4)).

3.4.- DIMENSIONAMENT DE CABLES

Ja que el recorregut dels cables és quasi tot a la intempèrie, hauran de ser aptes per aquesta condició.

Generalment, entre els mòduls s'utilitza un cable de doble aïllament de 1000 V i monoconductor. En una instal·lació fotovoltaica, els cables que uneixen els panells amb l'inversor, han de ser adequats per permetre suportar la intensitat que condueixen i que no es produeixen caigudes de tensió superiors al 1,5% en sistemes connectats a la xarxa.

En les instal·lacions de connexió a xarxa, els cables que uneixen l'inversor amb la xarxa han de suportar el 125 % de la intensitat màxima que produeix l'inversor. La caiguda de tensió permesa entre la xarxa i l'inversor és de 1,5 % per la intensitat nominal.

En general, els conductors que uneixen els panells connectats en sèrie són tots iguals i de la mateixa secció. Quan s'han d'unir varies sèries en paral·lel, es quan s'ha de calcular la secció del cable.

Per a realitzar el càlcul real de la secció del conductor, s'han d'adoptar els criteris indicats en les *ITC del Reglamento para Baja Tensión* que resultin aplicables en cada cas. També el *Ministerio de Ciencia y Tecnología*, disposa d'una *Guía Técnica de aplicación del RBT*, i que en el seu *Anexo 2* indica la forma de procedir pel càlcul.

3.5.- MUNTATGE ELÈCTRIC

3.5.1.- Seguretat

Un mòdul fotovoltaic subministra tensió des del moment que rep llum. Abans de ser cablejat, està en circuit obert, i té, per tant una tensió de almenys 1,5 vegades la seva tensió nominal. S'ha de tenir cura en els sistemes amb mòduls en sèrie, ja que poden presentar amb facilitat un arc elèctric. Una mala connexió o un mal aïllament pot produir un arc elèctric que no desapareixerà fins que els contactes es destrueixin o fins que es faci de nit (no hagi llum).

El corrent continu pot també resultar perillós pel cos humà; una intensitat alta provoca cremades greus. Les instal·lacions, a partir dels 120 V, poden ser perilloses i s'han de prendre mesures especials.

S'ha de tenir sempre present que un camp fotovoltaic genera tensió des de que surt el Sol, inclús amb el cel cobert. En els treballs de cablejat s'ha de ser molt prudent, especialment en el cas d'instal·lacions que funcionen a varis centenars de volts.

Per prevenir aquest tipus de riscos és precís col·locar un teixit opac sobre els mòduls quan es realitzin operacions de cablejat, perquè d'aquesta manera no produiran electricitat.

3.5.2.- Armaris de connexió

Els mòduls van equipats amb un o dos armaris de connexió en la seva part posterior. Les regles pel cablejat de mòduls són les següents:

- Els premsaestopes de sortida s'han de col·locar cap avall en la mesura del possible, o cap un costat, però mai cap a dalt. Per evitar el degoteig d'aigua en l'armari.

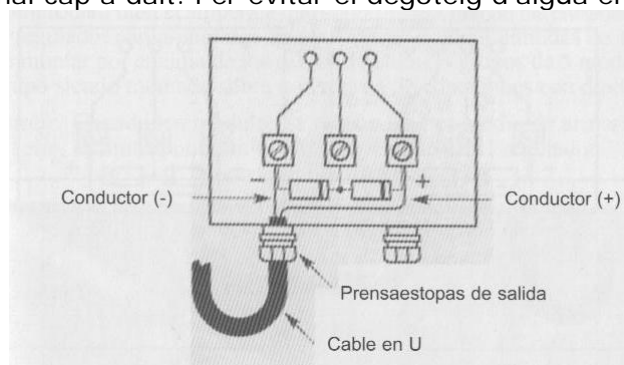


Figura 2: Cablejat de l'armari de connexió d'un mòdul

- La funda aïllant del cable ha d'entrar en l'armari de connexió, i el premsaestop farà el tancament sobre aquesta funda.
- Els premsaestops inutilitzats s'han de taponar.
- El cable que surt del mòdul ha de seguir la regla de "la gota d'aigua", fent una U que dirigirà els vessaments cap avall (Figura 2).
- En cas de dubte, es verificaran les polaritats amb un voltímetre en l'interior de l'armari de connexions (inclús sota de la seva tapa, el mòdul tindrà una polaritat).

- Una vegada s'ha fet el cablejat, les connexions es recobriran totes amb una resina protectora, així com les sortides del premsaestopes i la tapa de l'armari abans del tancament.
- Si un cable ha de travessar una paret exterior, s'ha de preparar el cable perquè formi una U, i que travessi el mur en forma ascendent; després s'ha d'afegir silicona al voltant de la secció travessada perquè resulti estanca. L'aigua que corri al llarg del cable tendirà a caure en la corba i no penetrarà en l'interior (Figura3).

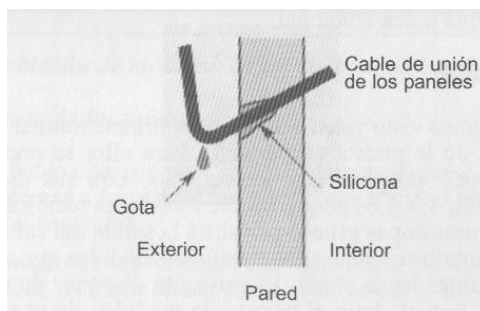


Figura 3: Cable travessant un mur exterior

Cal tenir en compte la possibilitat de retirar l'inversor per la seva reparació, per la qual cosa han d'existir caixes de connexions, interruptors o terminals de classe II, que quan es retiri l'inversor no mantinguin tensió ni en la part contínua ni en l'alterna. En la part de la alterna es pot usar un interruptor frontera, i la de contínua un interruptor general, seccionador fusible o terminal de classe II.

3.5.3.- Manteniment dels mòduls

El manteniment consisteix principalment en assegurar-se que els rajos de sol arriben sense problemes als mòduls i que l'electricitat produïda es transmeti correctament a l'inversor.

- Es farà un rentat dels mòduls amb aigua clara, sense detergent. Es comprovarà que els mòduls estan intactes: sense infiltracions, sense cèl·lules ennegrides.
- Es comprovaran les connexions elèctriques i el bon ajust de les fixacions mecàniques, així com l'estanquitat dels armaris de connexió.

S'ha de tenir en compte la possibilitat de reparar o netejar un mòdul fotovoltaic quan la tensió en la part de contínua és elevada, i per tant s'ha de disposar d'interruptors intermitjos en el camp fotovoltaic o terminals classe II per interconnectar els mòduls en sèrie, de manera que quan s'accedeix a un mòdul, la tensió màxima assequible sigui menor a 48 V.

4.- PROCEDIMENT PER LA CONNEXIÓ A LA XARXA DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

El procediment és vàlid per instal·lacions fotovoltaïques connectades a la xarxa de baixa tensió, amb potència nominal no superior a 100 kW i tensió nominal no superior a 1 kV.¹

L'usuari o venedor de l'energia elèctrica té una sèrie d'obligacions per poder rebre la prima:

- donar-se d'alta en el "Impuesto de Actividades Económicas"
- Inscriure's en el *REPE (Régimen Especial de Productores Eléctricos)* de la Comunitat Autònoma corresponent.
- Realitzar les declaracions trimestrals i anuals de IVA, a més de les obligacions tributaries que comporten els ingressos obtinguts per la producció de la instal·lació.

4.1.- REDACCIÓ DEL DOCUMENT BÀSIC

Quan una persona, entitat, etc. (titular) pretén invertir en una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa i instal·lar-la en un lloc determinat, ha de procedir a l'elaboració d'una memòria tècnica, o en el seu cas un projecte, conforme a l'art. 3 del *RD 1663/2000*, i que bàsicament ha d'incloure la següent informació:

- titular: nom, adreça, medi de contacte
- situació de la instal·lació
- característiques tècniques
- potència pic
- potència nominal
- característiques de l'inversor
- dispositius de protecció de seguretat
- mode de funcionament. Mode de connexió i desconnexió
- estimació de l'energia incorporada
- esquema unifilar
- punt proposat per realitzar la connexió de la instal·lació en la xarxa de distribució en baixa tensió

4.2.- SOL·LICITUD DE PUNT DE CONNEXIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA A LA XARXA DE L'EMPRESA DISTRIBUÏDORA

Quan s'ha redactat el document, una còpia d'aquest s'ha d'entregar en l'empresa distribuïdora d'energia amb l'objecte de que informi, en el termini d'un mes, sobre les condicions tècniques de la connexió, conforme a l'art. 4 del *RD 1663/2000*, i en particular:

- punt de connexió i mesura proposat
- tensió nominal i mínima en el punt de connexió

¹ (http://www.gencat.cat/oge/tramits/regim_especial/fotovoltaica/edificis/20kw/index.html)

- potència de curtcircuit en l'explotació
- potència nominal màxima disponible de connexió en el punt previst en funció de la capacitat de la línia, o del centre de transformació, en el seu cas
- justificació, si procedeix, de canvi de punt de connexió respecte al proposat pel titular.

En el cas de discrepància entre el que és indicat per la empresa distribuïdora i el titular, aquest últim pot recórrer a l'Administració competent, que decidirà en un termini màxim de 3 mesos.

En alguns cassos, depenent de la potència que es sol·liciti, la companyia podrà estimar la màxima potència admissible en el punt previst, o si és el cas que es vulgui mantenir la potència sol·licitada, podrà demanar el pagament de les millores en les instal·lacions de la xarxa que es precisarien.

4.3.- REDACCIÓ DEL DOCUMENT TÈCNIC DEFINITIU I INCLUSIÓ EN EL RÈGIM ESPECIAL

Després de l'acord de les condicions tècniques i de seguretat per la instal·lació, establert entre el titular i l'empresa distribuïdora d'electricitat, s'ha de refer el document tècnic bàsic en forma de projecte tècnic o document tècnic definitiu que inclogui el condicionament de l'empresa distribuïdora.

Amb aquest document definitiu, juntament amb la resta de documentació especificada en l'art. 7 del *RD 436/2004*, el titular sol·licita a l'Administració competent el reconeixement de la seva instal·lació com a productora d'electricitat en Règim Especial, la seva inclusió en aquest règim i la inscripció prèvia en el *Registro Administrativo de Instalaciones de producción en régimen especial*, d'acord amb l'apartat 4.3.1: "Procediment d' inclusió en Règim Especial".

El termini màxim de permanència de la inscripció prèvia de la instal·lació en el *Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial*, sense que es procedeixi a la seva inscripció definitiva, serà com a màxim de dos anys. El cas de superar-se aquest termini es procedirà a la cancel·lació de la inscripció.

4.3.1.- Procediment d'inclusió en Règim Especial

El procediment per tal que una entitat o titular s'inclogui en el règim especial ve descrit detalladament en el *Capítulo II* de l'*RD 436/2004* i la *Ley 30/1992*.

Les comunitats autònomes són les que tenen competències en aquest aspecte, per la qual cosa les sol·licituds es dirigeixen a les comunitats autònomes.

És important distingir que a més de reconeixement com instal·lació d'energia elèctrica en *Régimen Especial*, es procedeix a la inscripció en el "*Registro Administrativo de Instalaciones de Producción Especial*", que té dos fases:

- Fase 1. Inscripció prèvia en el *Registro Administrativo de Instalaciones de Producción en Régimen Especial* (art. 11 del *RD 436/2004*), que s'obté automàticament en obtenir el reconeixement com a instal·lació de producció d'energia elèctrica en *Régimen Especial*. S'entén que en aquest moment el titular està en el període d'iniciar l'execució de la instal·lació.
- Fase 2. inscripció definitiva en el citat Registre (art. 12 de l'*RD 436/2004*), que es sol·licita a l'administració competent un cop finalitzada la instal·lació, realitzat el *Certificado de Instalación en Baja Tensión* i signat el contracte de venda d'energia entre el titular i la ED.

4.4.- REALITZACIÓ DEL MUNTATGE DE LA INSTAL·LACIÓ I INSCRIPCIÓ DEFINITIVA EN EL REGISTRE ADMINISTRATIU D'INSTAL·LACIONS DE PRODUCCIÓ EN RÈGIM ESPECIAL

Per a redactar el projecte tècnic definitiu en el cas de ser necessari (potència > 10kW), es poden anar realitzant simultàniament varies tasques:

- Realització del muntatge de la instal·lació per instal·lador autoritzat en baixa tensió. Un cop finalitzat el muntatge, s'emetrà el *Certificat d'Instal·lació de Baixa Tensió*, *Memòria tècnica del disseny* i el seu corresponent *annex d'informació per l'usuari*. La *Memòria Tècnica de Disseny* serà substituïda per *Projecte i Direcció d'Obra* perquè la potència nominal de la instal·lació és superior a 10 kW. En el cas de tractar-se d'instal·lacions superiors a 25 kW, i en tractar-se la instal·lació a la intempèrie, s'adjuntarà un certificat amés per l'Organisme de Control Autoritzat.
- La instal·lació fotovoltaica es pot connectar a la xarxa per la realització de proves si es comunica prèviament a l'Empresa Distribuïdora.
- El titular sol·licita a la ED la formalització del contracte entre titular i Empresa Distribuïdora (ED), en conformitat a lo especificat en l'art. 17 del *RD 436/2004*, i segons el model especificat en l'*Anejo de la Resolució de 31 de mayo*, de la *Dirección General de política Energética y Minas*, per la qual s'estableixen model de contracte tipus i model de factura per instal·lacions solars fotovoltaïques connectades a la xarxa de baixa tensió.
- Un cop executada la instal·lació, es sol·licita a la ED la verificació de l'escomesa i el titular paga els drets de la mateixa. La ED ha de realitzar la verificació en el termini d'un mes.
- En el cas d'anomalies en la instal·lació, la ED li comunica al titular donant un termini raonable de reparació. En el cas de discrepància entre el titular i la ED sobre de les anomalies detectades per la ED, el titular pot recórrer a l'Administració competent, que resoldrà en el termini d'un mes.
- Signat el contracte, finalitzats els treballs d'execució de la instal·lació i juntament amb la documentació especificada en l'art. 12 del *RD/2004*, el titular sol·licita la inclusió definitiva en el *Registre Administratiu d'Instal·lacions de Producció en Règim Especial* d'acord amb l'*ANEJO II: "Procedimiento de inclusión en régimen especial"*.
- Un cop autoritzada la connexió, la instal·lació fotovoltaica es connecta a la xarxa de la ED i pot abocar energia a la mateixa, conforme a les condicions especificades en el capítol III del *RD/2004*.

4.5.- INGRESSOS PER LA VENDA D'ENERGIA VESSADA A LA XARXA

Un cop signat el contracte entre el titular i la ED, i la inclusió en el règim especial, i connectada la instal·lació a la xarxa, es pot procedir al cobrament de l'energia entregada, en conformitat amb el que s'especifica en el Capítol IV del *RD 436/2004*. Des del punt de vista fiscal i administratiu és important destacar les següents consideracions:

- La inscripció definitiva en el *Registro Administrativo de Instalaciones de Producción en Régimen Especial* serà requisit necessari per l'aplicació a les instal·lacions del règim econòmic regulat pel *RD 436/2004*, amb efectes des del primer dia del mes següent a la data de l'acta de posada en marxa definitiva.
- El titular haurà de fer declaracions trimestrals (i l'annual corresponent) en el règim d'IVA (models 300 i 390 respectivament), derivades de l'activitat de venda d'energia elèctrica. A més, haurà de fer les liquidacions en concepte d'IRPF.

- El titular tindrà el deure de donar-se d'alta en el *Impuesto de Actividades Económicas (IAE)*.
- El titular, en conformitat al que s'especifica en l'art. 14 del *RD 436/2004*, està obligat a enviar durant el primer trimestre de cada any a l'òrgan competent, una memòria-resum de l'any immediatament anterior, de l'energia produïda, així com de les inversions realitzades en la instal·lació, segons el model del *Anexo IV del RD 436/2004*.

4.6.- NORMATIVA QUE REGULA AQUEST PROCEDIMENT

Real Decreto 2224/1998, de 16 d'octubre, pel qual s'estableix el certificat de professionalitat de la ocupació d'instal·lador de sistemes fotovoltaics i eòlics de petita potència.

Real Decreto 1663/2000, de 29 de setembre, sobre connexió de instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió.

Real Decreto 436/2004, de 12 de març, pel qual s'estableix la metodologia per l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial

Ley 30/1992, i les seves normes de desenvolupament⁷

Resolución de 31 de mayo, de la *Dirección General de Política Energética i Minas*, per la qual s'estableixen model de contractació tipus i model de factura per instal·lacions solars fotovoltaïques connectades a la xarxa de baixa tensió⁸

Ordre de 5 de setembre de 1985 per la qual s'estableixen normes administratives i tècniques pel funcionament i connexió a les xarxes elèctriques de centrals hidroelèctriques de fins 5.000 kVA i centrals d'autogeneració elèctrica.

R.D. 1995/2000, de 1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions elèctriques.

Ley 54/1997, de 27 de novembre, del sector elèctric

5.- LEGISLACIÓ DE CONNEXIÓ A XARXA

La legislació aplicable a instal·lacions solars fotovoltaïques connectades a la xarxa de distribució en baixa tensió és la que s'exposa a continuació:

Ley del Sector Eléctrico 54/1997, de 24 de novembre de 1997; estableix un nou marc pel funcionament del sistema elèctric espanyol⁹

Aquesta llei, juntament amb la *Ley 66/1997*, de 30 de desembre de 1998¹⁰, permet que la producció d'energia elèctrica obtinguda per fonts d'energies renovables, residus i cogeneració, pugin ser considerades com de sistema de producció en regim especial i per tant, acollir-se a lo que es desenvolupa sobre aquest tipus de sistema de producció.

Posteriorment, es van publicar varis *Reales Decretos*.

<p>Real Decreto 1663/2000</p> <p>Amb data 30 de setembre de 2000, es va publicar en el <i>Boletín Oficial del Estado</i> el <i>Real Decreto 1663/2000</i>, de 29 de setembre, sobre connexió d'instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió.</p> <p>En aquest <i>Real Decreto</i> s'estableixen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condicions tècniques i de seguretat que han de contemplar aquest tipus d'instal·lacions, així com la realització de la connexió a la xarxa.

Condicions tècniques per sol·licitar el punt de connexió a la xarxa de distribució de baixa tensió.

- Condicions tècniques i econòmiques del contracte a subscriure entre els titulars d'aquestes instal·lacions i les empreses distribuïdores, amb l'objecte d'entregar l'energia generada i percebre una retribució econòmica en contraprestació, un cop se li reconegui la instal·lació com a productora d'electricitat en règim especial i s'inscriui definitivament en el corresponent registre d'instal·lacions, en conformitat al que s'especifica en l'*RD 436/2004*, de 12 de març.

- Condicions sobre qui podrà realitzar el muntatge d'aquest tipus d'instal·lacions, indicant que provisionalment haurà de ser un instal·lador electricista convencional, regulat pel *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* mentre no es desenvolupi el certificat de professionalitat indicat en el *Real Decreto 2224/1998* i el que s'indica per les diferents comunitats autònomes.

Real Decreto 436/2004

L'any 2004 es va revisar el règim especial i va aparèixer un decret que deroga l'anterior (2818/98), el *Real Decreto 436/2004*, de 12 de març, pel qual s'estableix la metodologia per l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial¹¹.

Aquest Real Decreto, bàsicament actualitza les condicions econòmiques en concepte de primes per la producció energètica i estableix un nou escenari més estable del que oferia el *RD 2818/1998* ja derogat.

¹http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_02_b0077cba.pdf

²

http://www.codigotecnico.org/fileadmin/Ficheros_CTE/Documentos/CTEabr09/DB%20HE%20abril%202009.pdf

³ <http://www.fotovoltaica.com/bo210601.pdf>

⁴ www.fotovoltaica.com/bo300900.htm

⁵ <http://www.miliarium.com/Paginas/Normas/NBE/NBE.htm>

⁶ <http://www.miliarium.com/Paginas/Normas/NBE/NBE-EA-95.asp>

⁷ http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/I30-1992.html

⁸ http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/r310501-1-me.html

⁹ http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/I54-1997.html

¹⁰ <http://www.igsap.map.es/cia/dispo/12891.htm>

¹¹ <http://www.fotovoltaica.com/bo270304.pdf>

PLÀNOLS

PLÀNOLS. INDEX

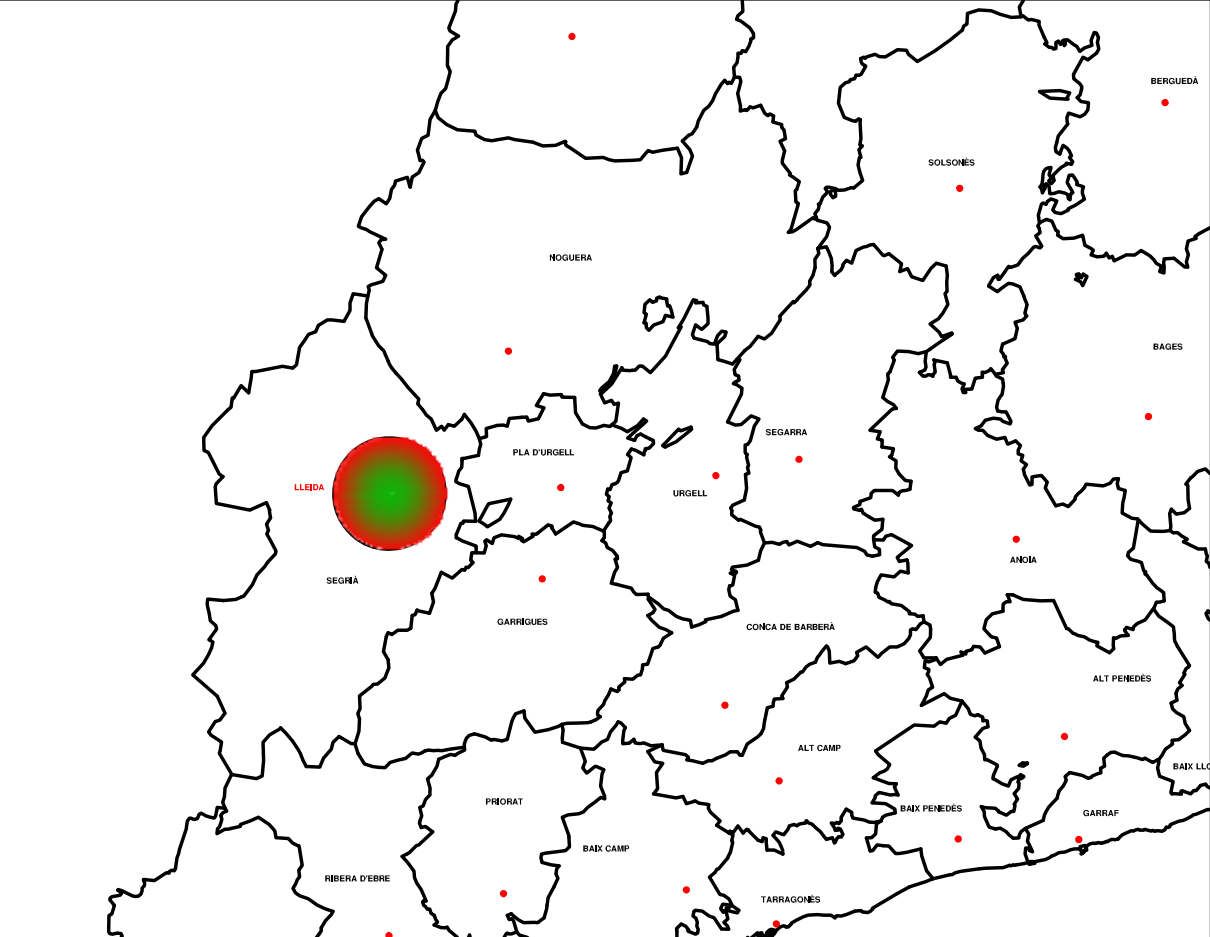
Plànol 1. Situació i emplaçament de la nau agroindustrial

Plànol 2. Distribució, orientació i inclinació de mòduls fotovoltaics

Plànol 3. Esquema unifilar Camp 1

Plànol 4. Esquema unifilar Camp 2

Plànol 5. Detall de l'equip de protecció i mesura, i de connexió a la xarxa B.T.



1:1000.000




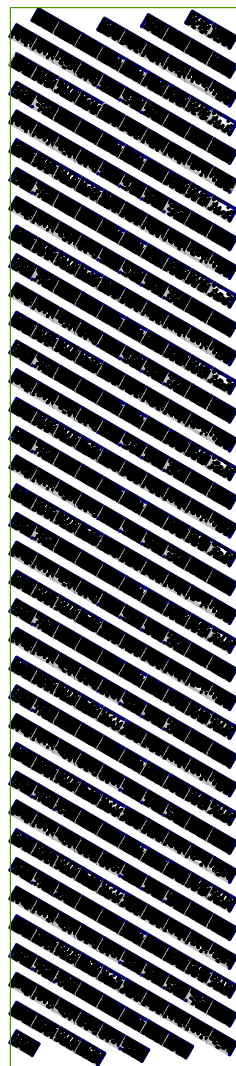
1:50.000



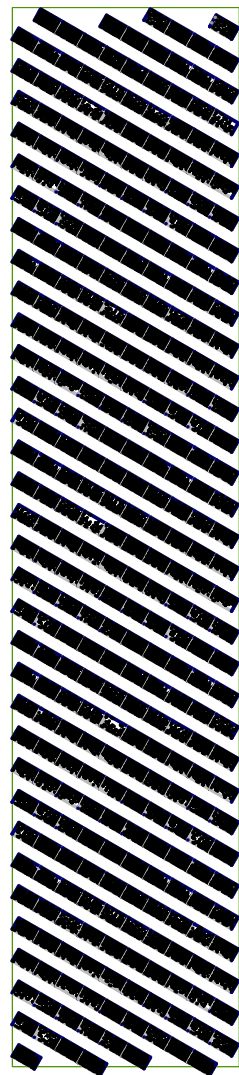
1:2.000



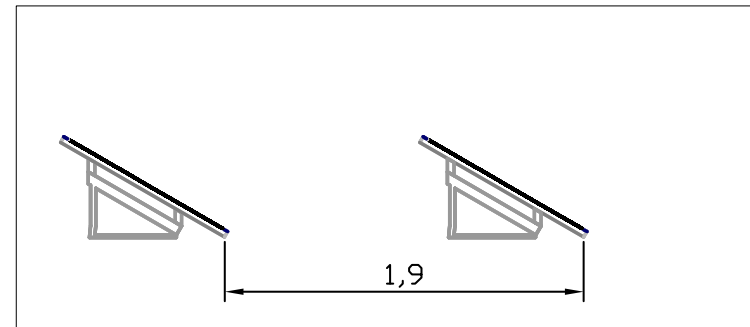
		UNIVERSITAT DE LLEIDA			
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida (ETSEA)					
PROJECTE FINAL DE CARRERA (PFC)					
Projecte d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa B.T. sobre la coberta d'una nau agroindustrial					
PLÀNOL: <u>Situació i emplaçament de la nau agroindustrial</u>					N: 1
ESCALA:		Juan Francisco Juárez García			
1:1000.000		SIGNATURA:			
1:50.000					
1:2.000				data: juny 2010	



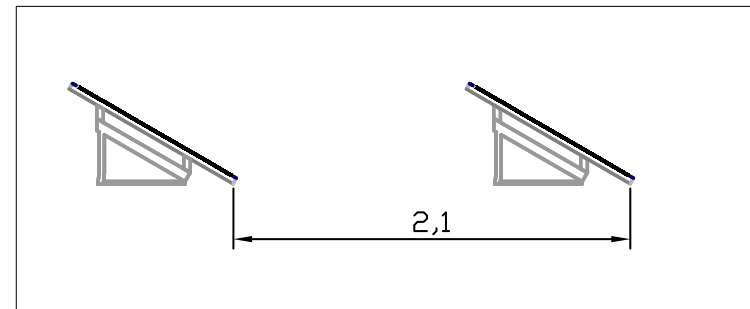
Camp 1
360 mòduls



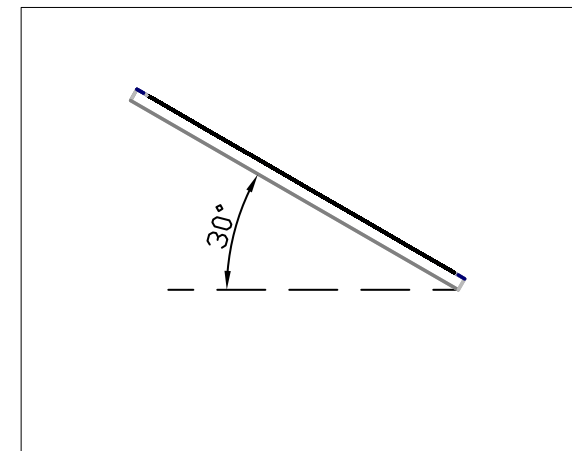
Camp 2
330 mòduls



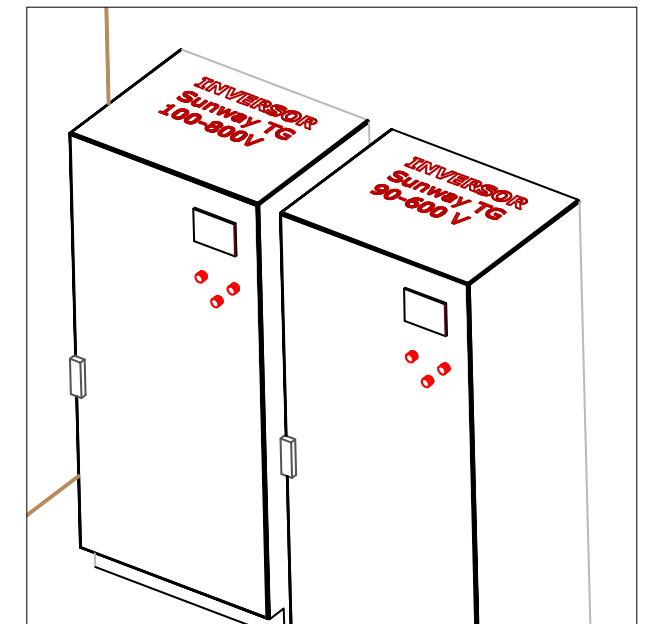
Camp 1



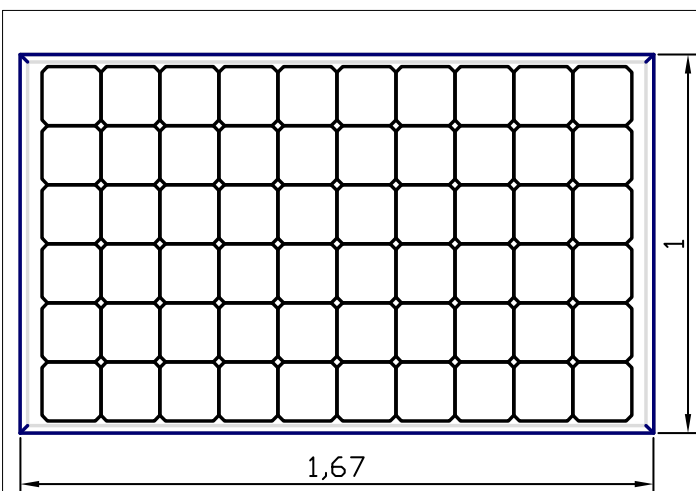
Camp 2



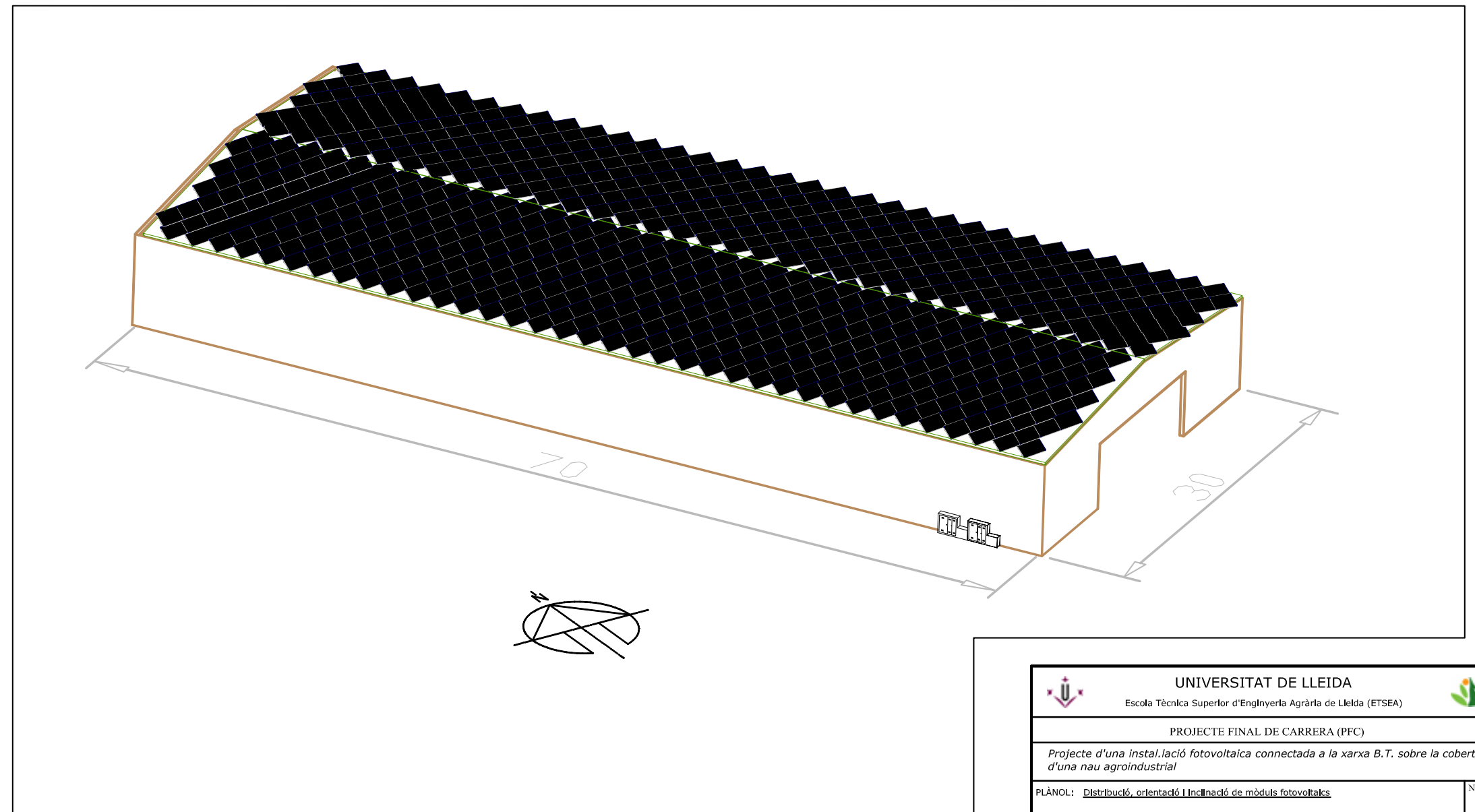
inclinació mòdul



inversors Sunway TG

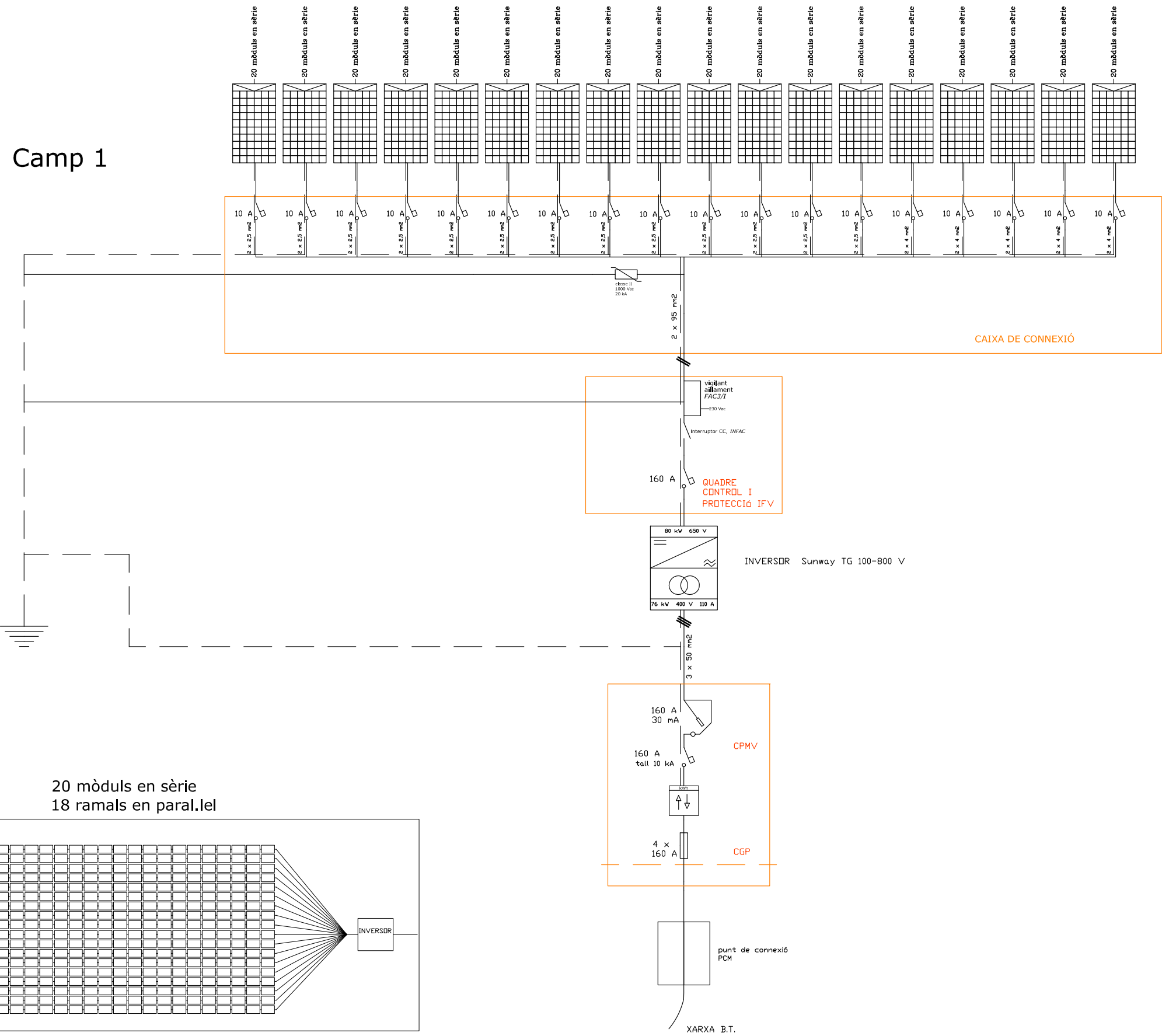


Mòdul HEE215MA65-235
235Wp 25 V



		UNIVERSITAT DE LLEIDA		
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de Lleida (ETSEA)				
PROJECTE FINAL DE CARRERA (PFC)				
Projecte d'una instal·lació fotovoltaica connectada a la xarxa B.T. sobre la coberta d'una nau agroindustrial				
PLÀNOL: <u>Distribució, orientació i inclinació de mòduls fotovoltaics</u>				N: 2
ESCALA:	Juan Francisco Juárez García			
SIGNATURA:			data: juny 2010	

Camp 1



20 mòduls en sèrie
18 ramals en paral·lel

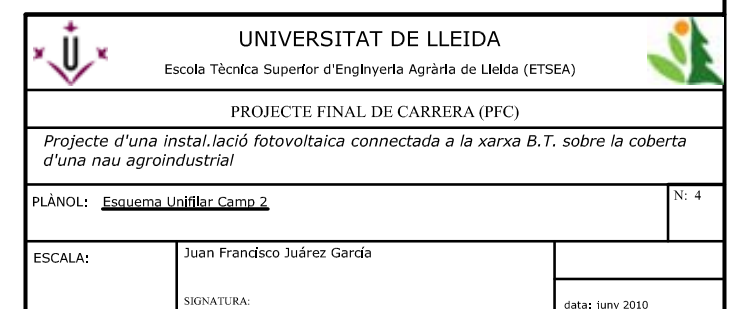
LLEENDA

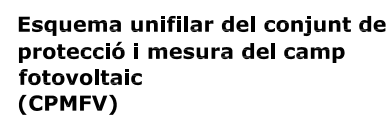
- FUSIBLE
- DESCARREGADOR
- INTERRUPTOR AUTOMÀTIC
- INTERRUPTOR DIFERENCIAL
- COMPTADOR ENERGIA MULTIFUNCIÓ, ENTRADA-SORTIDA
- LÍNIA MONOFÀSICA
- LÍNIA TRIFÀSICA

CPMV: conjunt de protecció i mesura de la instal·lació fotovoltaica

CGP: caixa general de protecció

límit de la propietat





- 1- canal protector
- 2- caixa de seccionament
- 3- caixa general de protecció
- 4- conjunt de protecció i mesura TMF10
- 5- tub aïllant rígid per protecció de conductors
- 6- separació opcional
- 7-armari amb porta metàl·lica de 2 mm, protecció IK10 i pany

